DOSIERBARKEIT DER KREISLAUFBELASTUNG AUF KURÜBUNGSWEGEN

Möglichkeiten und Grenzen

Brigitte Huber

Diss München
1984

केन्द्रीय
ग्रन्थागार
जबलपुर

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41534901_0023

Aus dem Institut für Medizinische Balneologie und Klimatologie
der Universität München

Vorstand: Prof. Dr. Drexel

DOSIERBARKEIT DER KREISLAUFBELASTUNG AUF KURÜBUNGSWEGEN: MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der
Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Brigitte Huber

aus
Landshut

Jahr
1984

Mit Genehmigung des Fachbereiches Medizin der
Universität München

Berichterstatter	:	Dipl.-Physiker Dirnagl
Mitberichterstatter	:	Prof. Dr. Drexel
Dekan	:	Prof. Dr. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 28. 2. 1984

DISSERTATIONS - UND FOTODRUCK FRANK GmbH
8000 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2809090

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	FRAGESTELLUNG	2
3.	LITERATUR ÜBER DIE MÖGLICHKEITEN DER STANDARDISIERTEN KREISLAUFBELASTUNG	3
3.1	Überblick über die verschiedenen Arten des Kreislauftrainings	3
3.1.1	Kreislauftraining durch Ergometrie	4
3.1.2	Die Terrainkur	6
3.2	Allgemeine Grundlagen zum körperlichen Training	7
3.3	Indikationen für das dosierte Training	9
3.3.1	Absolute Indikationen	11
3.3.2	Relative Indikationen	12
3.4	Leistungstest zur Beurteilung der Belastbarkeit des Patienten	13
4.	LITERATUR ÜBER DIE GRENZEN DER STANDARDISIERTEN KREISLAUFBELASTUNG	16
5.	VERSUCHSBESCHREIBUNG UND METHODIK	18
5.1	Untersuchungsgut	18
5.2	Versuchsablauf auf den Kurübungswegen	18
5.2.1	Wege	18
5.2.2	Probanden	20
5.2.3	Schritt-Takte	21
5.2.4	Messungen	21
5.2.5	Technische Hilfsmittel	21
5.3	Versuchsablauf auf dem Ergometer	23

6.	ERGEBNISSE	24
6.1	Terrain	24
6.1.1	Schleifmühlweg	25
6.1.2	Seebichl	30
6.1.3	Kapellenbichl	34
6.2	Ergometrie	39
6.3	Beziehung zwischen Terraingang und Ergometrie	40
6.4	Formel zur Leistungsberechnung	49
7.	DISKUSSION	52
7.1	Die möglichen Ursachen für die Streubreiten der Herzfrequenz-Werte	52
7.1.1	Interpersonelle Streuung der Herzfrequenzen	52
7.1.2	Intrapersonelle Streuung der Herzfrequenzen	55
7.2	Beziehung zwischen Terraingang und Ergometrie	56
7.2.1	Größere Streubreite bei den Kurven der ergometrischen Leistungsäquivalenz	56
7.2.2	Veränderte Relation der Kurven der ergometrischen Leistungsäquivalenz a) Beispiele für die Berechnung der Hebeleistung bei Begehung der Strecke mit langsamen Schritt-Takt (40 S/min) b) Beispiele für die Berechnung der Hebeleistung bei Begehung der Strecke mit schnellem Schritt-Takt (84 S/min)	57
7.2.3	Leistungsvergleich zwischen Ergometrie und Geländegehtest	61
7.3	Algorithmen zur Leistungsbeschreibung	62
7.4	Der Leistungstest	67
7.5	Das "walk-through-Phänomen"	71
7.6	Vergleich zwischen Ergometrie und Terrainkur	72

8.	KRITIK DER METHODE	74
8.1	Probanden	74
8.2	Messung der Herzfrequenz als Parameter der Kreislaufbelastung	74
8.3	Meßmethoden	75
8.3.1	Gehtests auf den Kurübungswegen	75
8.3.2	Fahrradergometrie	75
9.	SCHLUßFOLGERUNGEN	76
10.	ZUSAMMENFASSUNG	78
	Literaturverzeichnis	81
	Anhang	84

1. EINLEITUNG

Die Lebensweise vieler Menschen unserer Zeit ist von den negativen Begleiterscheinungen unserer hochtechnisierten und leistungsorientierten Umwelt geprägt. Bewegungsmangel, extreme Streßsituationen und Risikofaktoren wie hoher Blutdruck, Nikotinabusus, Arteriosklerose, Ernährungsfehler mit nachfolgender Adipositas und pathologischen Blutfettwerten führen bei vielen Menschen zu mehr oder weniger schweren Erkrankungen des cardiovaskulären Systems, insbesondere zum Infarkt.

Für Prophylaxe und Therapie von Herz- und Kreislauferkrankungen ist, aufgrund vieler epidemiologischer Untersuchungen und der Kenntnis der Wirkungsmechanismen erhöhter körperlicher Aktivität ein wohldosiertes Training des Körpers indiziert.

Diesem medizinischen Auftrag kann der Kurort von heute mit der Durchführung aktiver therapeutischer Maßnahmen entsprechen. Neben dem ursprünglichen traditionellen Ziel der Kur vor allem Ruhe und Erholung zu vermitteln, stehen heute Prophylaxe und Rehabilitation mit Hilfe des individuellen körperlichen Trainings im Mittelpunkt der Überlegungen.

Unter der Bezeichnung "Aktive Übungstherapie" versteht man die Absicht, den Kurpatienten aus der Passivität herauszuführen und ihn zu aktiver Mitarbeit zu bringen. Das Ziel einer Bewegungs- bzw. Übungstherapie ist es, durch eine dosierte, kontinuierlich ansteigende Trainings- bzw. Übungsbehandlung die Leistungs- und Widerstandskraft zu erhöhen (2) (14).

Eine der einfachsten und wirkungsvollsten Trainingsmethoden stellt das Gehen im Gelände dar, dessen positive Effekte auf den Organismus bereits im letzten Jahrhundert von M.J. Oertel erkannt und praktiziert wurden (14).

Da der Erfolg einer "aktiven Therapie" durch Gehen im Gelände entscheidend von der richtigen Dosierung der Gehtests abhängt, stehen im Mittelpunkt dieser Arbeit die Möglichkeiten und Grenzen der standardisierten Kreislaufbelastung auf Kurübungswegen, aufgezeigt am Beispiel Bayersoien.

2. FRAGESTELLUNG

Für unsere Untersuchungen ergeben sich folgende FRAGESTELLUNGEN:

1) Welche Möglichkeiten der standardisierten Kreislaufbelastung auf Kurübungswegen gibt es?

2) Wo liegen die Grenzen der standardisierten Kreislaufbelastung?

3) Welche Beziehung besteht zwischen den Herzfrequenzen bei der Fahrradergometrie und denjenigen bei den Gehtests im Terrain?

4) Welche Ursachen liegen der Streuung der Herzfrequenzen bei den Terraintests zugrunde?

3. LITERATUR ÜBER DIE MÖGLICHKEITEN DER STANDARDISIERTEN KREISLAUFBELASTUNG

3.1 Überblick über die verschiedenen Arten des Kreislauftrainings

Während die Diskussion über Sinn und Zweck des dosierten körperlichen Trainings mittlerweile breite Übereinstimmung aufweist, gibt es in der Frage, welche Art der standardisierten Kreislaufbelastung am geeignetsten ist, noch sehr unterschiedliche Standpunkte.

Gerade in der Rehabilitation ist es sehr wichtig, auf ein relativ breit gefächertes Angebot an Trainingsmöglichkeiten für Herz- Kreislauf-Patienten verweisen zu können. Viele Patienten sind vielleicht nur für eine oder zwei Arten der körperlichen Belastung geeignet, anderen dagegen - mit den entsprechenden physischen Voraussetzungen - macht es Freude die diversen Möglichkeiten sich wieder "in Schwung" zu bringen abwechselnd wahrzunehmen.

Auf welche Art und Weise kann der Kurpatient standardisiertes Kreislauftraining betreiben?

Einige der gängigsten Methoden - ohne Anspruch auf Vollständigkeit - sind:

-- Training auf dem Fahrradergometer
-- Terrainkur
-- Laufen
-- Schwimmen
-- Rudern
-- Skiwandern
-- Einzeltraining oder Training in der Gruppe

An dieser Stelle sollen vorrangig die Ergometrie und die Terrainkur, als zwei sehr unterschiedliche Möglichkeiten der standardisierten Kreislaufbelastung in der rehabilitiven Kardiologie, dargestellt werden.

3.1.1 Kreislauftraining durch Ergometrie

Nach Mellerowicz (16) gelten für den optimalen Einsatz der Ergometrie als Therapeutikum im rehabilitiven Training folgende Voraussetzungen:

(1) "... die ergometrische Messung bzw. Bestimmung der organischen bzw. der körperlichen Leistungsgrenzen...", die in kurzen Zeitabständen zu wiederholen ist.

Ferner die Berücksichtigung

(2) des individuellen Gesundheitszustandes und der Risikosituation,

(3) von "... Konstitution, Alter und Geschlecht;

(4) (der) ständig wechselnde(n) Kondition;

(5) (von) exogenen Faktoren wie Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftdruck ...;

(6) (der) Motivation und (des) eigenen Leistungswillen(s) des Rehabilitanden."

Zur Ermittlung des physischen Leistungsvermögens und dessen Grenzwerten schlägt Mellerowicz folgende Methoden vor:

Der Patient - auf dem Ergometer sitzend oder liegend - wird bei einer bestimmten Ausgangsleistung (25 oder 30 oder 50 Watt) stufenweise mit 10 Watt/1 min bzw. 25 Watt/2 min höher belastet.

Die Leistungsgrenze ist dann erreicht, wenn bei einer bestimmten Belastungsstufe

-- ein gleichzeitig registriertes EKG Abbruchkriterien aufweist wie ST-Senkungen, gehäufte Extrasystolen etc.

-- die maximale altersabhängige Herzfrequenz (nach Rehabilitation Council of International Society of Cardiology, zitiert in (16))erreicht wird

-- Blutdruckwerte von 200 bis 250 mm Hg gemessen werden

-- subjektive Beschwerden, wie Stenokardie, Dyspnoe, etc.

-- ein respiratorischer Quotient von ca. 1 erreicht ist.

Als weitere Möglichkeiten zur Bestimmung der individuellen Leistungsgrenzen führt Mellerowicz noch die Bestimmung der PWC_{170} (= "physical work capacity") und der maximalen O_2-Aufnahme an.
Bei der PWC_{170} handelt es sich nach Hüllemann (12) um die - bei Annahme einer linearen Beziehung zwischen Leistung und Arbeitspulsfrequenz - zur Pulsfrequenz 170/min gehörende Leistung (Watt).
Die maximale O_2-Aufnahme oder Vita-maxima ist das zuverlässigste Kriterium zur Beurteilung der cardiopulmonalen Leistungsfähigkeit. Bei ansteigender Belastung und dynamischer Beanspruchung möglichst großer Muskelgruppen kann mittels der Spiroergometrie (11) die maximale O_2-Aufnahme bestimmt werden.
Mellerowicz schlägt vor - nach Erfüllung der genannten Voraussetzungen - ein möglichst tägliches Training am Ergometer durchzuführen.
Die Trainingsintensität sollte 60 bis 90% des Gesamtleistungsvermögens betragen und länger als sechs Minuten dauern. Unter dem Gesamtleistungsvermögen ist die bei der cardiologischen Voruntersuchung gefundene Grenzleistung bei ansteigender ergometrischer Untersuchungsmethodik zu verstehen (16). Der Rehabilitand muß lernen, seine Herzfrequenz selbst zu kontrollieren; bei leistungsschwächeren Patienten ist evtl. noch eine zusätzliche Kontrolle mittels Telemetrie oder anderen Spezialanzeigen ratsam.

Der Trainingseffekt sollte durch regelmäßig durchgeführte ergometrische Belastungstests mit Messung der o.a. Parameter (EKG, HF, RR, O_2-Aufnahme, PWC_{170}) objektiviert und gegebenenfalls korrigiert werden.

3.1.2 Die Terrainkur

Die Bedeutung einer aktiven Bewegungstherapie in der Rehabilitation von chronisch Herz- und Kreislaufkranken ist schon im vorigen Jahrhundert von O e r t e l erkannt und beschrieben worden. In seiner "Allgemeinen Therapie der Kreislaufstörung" (1884) berichtet er über seine Erfahrungen mit abgestuften Geh- und Steigbewegungen auf Terrainkurwegen, dosierter Arbeit am Handkurbelergometer, körperlicher Gymnastik und Ernährung (14).

Leider wurden diese Erkenntnisse in der Zwischenzeit wieder vergessen, sei es durch die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der pharmakologischen Therapie oder einfach nur aus Bequemlichkeit, denn sowohl für den Arzt, als auch für den Patienten war es am einfachsten, Medikamente zu verordnen bzw. zu konsumieren.

Ein zusätzlicher Faktor für das Zurücktreten der Oertelschen Erkenntnisse dürfte die Unsicherheit der adäquaten Dosierung gewesen sein, Schwierigkeiten, die heute durch die Spiroergometrie, EKG etc. leichter zu beherrschen sind.

Es ist das große Verdienst Peter Beckmanns, daß er die alte Idee der Oertelschen Terrainkur in den fünfziger Jahren wieder aufgegriffen hat, so daß sie heute - modifiziert als "Ohlstädter Kur" - aus der Prävention und der Rehabilitation im Kurbetrieb praktisch nicht mehr wegzudenken ist.

Das dominierende Prinzip der "Ohlstädter Schule" ist das der " ... Aktivleistungen des Patienten für die Wiederherstellung seiner Gesundheit..." (14). Der Patient sollte nicht mehr wie früher passiv die Kur "über sich ergehen lassen", sondern sich aktiv um seine Gesundheit einsetzen müssen.

Heute versteht man unter der "Terrainkur" eine spezielle Form der Bewegungstherapie mit Spaziergängen und Wanderungen im bergigen Gelände, wobei - je nach Patient - Höhendifferenzen bis zu einigen hundert Metern überwunden werden müssen. Die Terrainbelastung ist aber nur ein Teil der

Ohlstadt-Kur, sie wird vervollständigt durch physikalische Maßnahmen, Gymnastik, Wirbelsäulenübungen, Sauna, Yoga, autogenes Training etc. (2).

Ferner legt man großen Wert auf die Entspannung des Kurpatienten und fördert die Entwicklung eines neuen Gesundheitsbewußtseins.

Da es in der vorliegenden Arbeit primär um die Kreislaufbelastung auf Kurübungswegen geht, steht also hier die Terrainkur als Therapeutikum in der Rehabilitation im Mittelpunkt des Interesses.

3.2 Allgemeine Grundlagen zum körperlichen Training

Training bedeutet "...die Summe aller Maßnahmen..., die zur planmäßigen Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit führt...'Trainiertsein' beschreibt den Zustand einer vergrößerten Leistungsfähigkeit als Folge des Trainings." (22).

An dieser Stelle seien kurz die wichtigsten, von der Sportmedizin erarbeiteten, naturgesetzlichen Grundlagen des Trainings erwähnt:

Nach dem Grundsatz "...spezielles Training hat spezielle Wirkungen auf den Organismus..." (11) unterscheidet man verschiedene Trainingsqualitäten.

Hollman (10) bezeichnet Koordination - Kraft - Schnelligkeit - Ausdauer als die vier muskulären Hauptbeanspruchungsformen, die sich hinsichtlich des Trainingsaufbaus und -effekts grundlegend unterscheiden.

Als dosiertes Training in der rehabilitiven Kardiologie und in der Präventivmedizin eignen sich in erster Linie Belastungsformen auf aerobe Ausdauer, weil damit das kardiopulmonale System den intensivsten Trainingsreiz erfährt. Hollmann (10) definiert 'Ausdauertraining' als dynamische, mindestens drei Minuten andauernde Muskelarbeiten, wobei unter Einsatz von mindestens 1/7 bis 1/6 der gesamten Ske-

lettmuskulatur über 50% der maximalen Leistungsfähigkeit erreicht werden.

Heute weiß man, daß Ausdauertraining über Leistungs- und Ökonomisierungszunahmen des kardiopulmonalen Systems zu vielfältigen Adaptionsvorgängen in den entsprechenden Organsystemen führt.

Die wichtigsten Anpassungsmechanismen sind ((6), (7), (9), (12), (16), (20)) :

(1) Funktionell-regulatorische Adaptionen

Durch einen zunehmenden parasympathischen Einfluß können Herz und Kreislauf wesentlich energie- und sauerstoffsparender arbeiten, es kommt zu einer Trainingsbradykardie.

(2) Metabole Adaptionen

a) Verbesserung der O_2-Utilisation durch erhöhte Myoglobin- und Mitochondrienkonzentration,

b) Reduktion der myokardialen Katecholamine,

c) Anstieg von ATP und Glykogenreserven,

d) positive Effekte auf Lactat-, Blutzucker- und Cholesterinspiegel;

(3) Hämodynamische Adaptionen

a) verbesserte Durchblutung des Myokards,

b) Neubildung von Kapillaren und wahrscheinlich auch von Kollateralen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß alle Ausdaueranpassungen für eine besonders zuverlässige Sauerstoffversorgung des Herzens sorgen.

Auch am vorgeschädigten und älteren Herzen ist mit Anpassungsmechanismen zu rechnen (6), wenn auch in einem geringeren Maß als bei einem Gesunden, der ein intensives Training durchführt.

Die Trainingsintensität muß einen unteren Schwellenwert übertreffen, der je nach Autor mit 60 bis 90% des maximalen Leistungsvermögens angesetzt wird (12) (16).

Als Maß für die Trainingsintensität eignet sich das Pulsverhalten, wobei man allerdings wegen des bekannten 'Bremseffektes' (10) das Alter mitberücksichtigen muß.

Nach Schnizer et al. (22) sollte der junge Mensch im Training eine Herzfrequenz von mindestens 130 Schlägen/min erreichen, ab dem 50. Lebensjahr gilt für die Herzfrequenz die Formel 180 minus Lebensalter.

Hinsichtlich der Trainingshäufigkeit werden täglich zehn Minuten als absolutes Mindestmaß angegeben (16). Training, das nur ein bis zweimal wöchentlich durchgeführt wird - wenn auch 30 bis 60 Minuten - ist weniger effektiv als tägliches Training.

Für Prophylaxe und Therapie von Herz- und Kreislauferkrankungen ist, aufgrund vieler epidemiologischer Untersuchungen und der Kenntnis der Wirkungsmechanismen einer erhöhten körperlichen Aktivität, ein Ausdauertraining angezeigt. Dieses kann sowohl in Form einer kontinuierlichen Dauerbelastung, als auch durch Intervalltraining betrieben werden, aber immer unter der Voraussetzung einer optimalen, individuellen Dosierung.

3.3 Indikationen für das dosierte Training

Für ein effektives Training in der rehabilitiven und präventiven Kardiologie sind in erster Linie zwei Faktoren von grundsätzlicher Bedeutung:

-- die exakte, individuelle Dosierung und

-- die richtige Indikationsstellung, die an dieser Stelle vorrangig behandelt werden soll.

Genauso, wie ein bestimmtes Medikament nur in einer gewissen Dosis und nur bei einer begrenzten Anzahl von Krank-

heitsbildern seine Wirkung entfalten kann - dagegen bei anderen Leiden bestenfalls wirkungslos ist oder u. U. sogar lebensbedrohliche Situationen heraufbeschwören kann - so sind auch dem körperlichen Training in der Rehabilitation gewisse Grenzen gesetzt.

Nach einer exakten Anamnese, einer umfassenden klinischen Untersuchung und einer sehr sorgfältig durchgeführten Leistungsprüfung muß der Arzt abwägen, ob sein Patient die Voraussetzungen für ein physisches Training prinzipiell erfüllt.

Damit stellt das körperliche Training - selbstverständlich unter strenger Beachtung der von vielen Kardiologen und Sportmedizinern empfohlenen Indikationsmöglichkeiten - ein risikoarmes und wirkungsvolles Therapeutikum dar.

Zur Frage der Indikationsstellung scheint eine differenzierte Betrachtungsweise angebracht und damit eine Unterscheidung von a b s o l u t e n und r e l a t i v e n Indikationen nach dem Beispiel Grünewalds (16) gerechtfertigt.

Während man unter den absoluten Indikationen Krankheitsbilder einreihen kann, die erfahrungsgemäß relativ risikolos und effektiv mit einer Bewegungstherapie zu behandeln sind, ist bei den relativen Indikationen ein vorsichtiges Abwägen geboten. Der Arzt hat sich in derartigen Situationen immer zu fragen, ob es sich im speziellen Krankheitsfall um eine relative Indikation, oder aber um eine relative Kontraindikation handelt.

So gesehen umfaßt das Indikationsgebiet im Rahmen der Herz- und Kreislauferkrankungen nach Kirchhoff (14), Milz (16), Häntzschel (6), Grünewald (16), Hüllemann (12) und Halhuber (7) in einer Zusammenschau der genannten Autoren folgende Anwendungsmöglichkeiten:

3.3.1 Absolute Indikationen

(1) Vegetative und funktionelle Herzkreislaufstörungen

-- hypokinetic disease
-- Effort - Syndrom
-- hyperkinetisches Herzsyndrom
-- hyper- und hypotone Kreislaufregulationsstörungen

(2) Latente und beginnende koronare Herzkrankheit mit vorhergehender Digitalisierung

(3) Risikofaktoren und -indikatoren für koronare Herzkrankheit

-- Adipositas
-- bestimmte Formen der Hyperlipidämie
-- Nikotinabusus
-- labile und essentielle mäßige Hypertonie
-- evtl. Bewegungsmangel als möglicher 'Wegbereiter' der Arteriosklerose

(4) Periphere Durchblutungsstörungen arterieller oder venöser Genese - soweit eine Bewegungstherapie noch angebracht erscheint
(Stadien I - III nach Fontaine)

(5) Gesundheitsbildung und Wiedergewinnung des Vertrauens in die eigene Leistungsfähigkeit und Lebenstüchtigkeit.

(6) Kreislauftrainingsverlust

(7) Fehlen von Kontraindikationen.

3.3.2 Relative Indikationen

(1) Angeborene und erworbene Vitien bzw. deren postoperativer Zustand

(2) fortgeschrittene und schwere koronare Herzkrankheit
Zustand nach Infarkt (Ausheilungsstadium I bis III), nach Roskamm et al (20) Beginn einer systematischen Bewegungstherapie nach sechs Monaten bei transmuralen Infarkt, bei nicht-transmuralen Infarkt nach vier Monaten möglich;
weitgehend kompensierte Herzklappenfehler
Myokardfibrose
inaktiv gewordene rheumatische Herzmuskelerkrankung

(3) mäßige pulmonale Hypertonie

(4) medikamentös reduzierter Hypertonus

(5) nach Häntzschel (6) bei entsprechenden Reanimationsmöglichkeiten:
-- Rhythmusstörungen in Form von AV-, SA-Blockierungen
-- gehäufte Extrasystolie
-- Schenkelblöcke

(6) besonders niedriges Leistungsvermögen zu Therapiebeginn

(7) fortgeschrittenes Alter

Natürlich sollte sich der Therapeut nicht blindlings auf ein bestimmtes vorgegebenes Schema verlassen, denn letztlich kann ihm kein noch so vermeintlich gut ausgetüfteltes Anwendungs- und Verbotskatalog die Entscheidung - körperliches Training ja oder nein - abnehmen. Gerade in schwierigen Fällen ist ein sorgfältiger Vergleich aller aus Anamnese, Untersuchung, Leistungstest usw. gewonnenen Daten als Voraussetzung zur richtigen Indikationsstellung unumgänglich und der bestmögliche Weg.

3.4 Leistungstest zur Beurteilung der Belastbarkeit des Patienten

Bewegung bzw. Sport als Medikament in der rehabilitiven Kardiologie setzt die genaue Kenntnis der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit des Patienten voraus. Schließlich hängt der Erfolg einer Bewegungstherapie, neben der richtigen Indikationsstellung, wesentlich von der richtigen Einschätzung des Patienten ab.

Durchführung von Bewegungstherapie ohne derartiges Wissen bedeutet sowohl ein hohes Risiko für den Patienten als auch eine grobe Verletzung des alten ärztlichen Grundsatzes des nil nocere!

Zunächst sollte der Arzt eine exakte biographische Anamnese, einschließlich Familienanamnese, mit Fragen nach Beschwerden, Lebensgewohnheiten, sportlicher Betätigung, Hobby, Rauchen, Alkohol, Ärger etc. durchführen.

Dann sollte eine allgemeine klinische Untersuchung, einschließlich einiger laborchemischer Daten, wie Blutbild, Elektrolyte etc. erfolgen.

Schließlich soll der Patient einer Belastungsprüfung auf dem Fahrradergometer unterzogen werden, da unter Belastungsbedingungen der Funktionszustand des cardiovaskulären Systems am besten analysiert werden kann. Unter ärztlicher Aufsicht werden Puls, Blutdruck, EKG, Herzrhythmusstörungen, Dyspnoe etc. unter abgestufter Belastung gemessen und kontrolliert. Mit Hilfe der Spiroergometrie (10) (12) wäre es anhand von Parametern, wie der maximalen Sauerstoffaufnahme, des Atemäquivalentes usw. möglich, besonders exakte und differenzierte Funktionsdiagnostik zu betreiben, jedoch ist die Spiroergometrie - wegen ihres großen technischen und personellen Aufwands - im Kurort nicht praktikabel.

In der täglichen Praxis hat sich die Fahrradergometrie - standardisiert und vereinheitlicht (7) (16) - als die brauchbarste Methode erwiesen.

Bei der ergometrischen Untersuchung ist es wichtig, die geltenden Abbruch- und Ausbelastungskriterien zu beachten. Als Abbruchkriterien werden genannt (14) (19) (7):

(1) Erschöpfung des Patienten, Kopfschmerz, Ohnmacht, Claudicatio intermittens, Schmerzen, Dyspnoe, Stenokardien

(2) EKG-Veränderungen, wie ST-Senkungen über 0,2 V, gehäufte Extrasystolen, Erregungsleitungsstörungen

(3) pathologisches Blutdruck- und Herzfrequenzverhalten ($RR_{syst.}$ 230-250, $RR_{diast.}$ 120 mm Hg, maximale altersabhängige Herzschlagfrequenzen, mangelnder Anstieg der Pulsfrequenz bei steigender Belastung)

Außerdem sollte die Belastung nicht weiter gesteigert werden, wenn die maximale altersabhängige Ausbelastungsherzfrequenz erreicht ist.

Nach den Empfehlungen des Scandnavian Committee on ECG classification (1967) gelten als oberste Grenzwerte (14):

20 - 29	Jahre	:	170	Schläge / min
30 - 39	"	:	160	" "
40 - 49	"	:	150	" "
50 - 59	"	:	140	" "
60 - 69	"	:	130	" "

Von entscheidender Bedeutung ist das während der ansteigenden Belastung auf dem Ergometer aufgezeichnete E K G. Es ermöglicht die Früherkennung einer latenten Koronarinsuffizienz und zeigt beim Erscheinen von typisch pathologischen E K G - Veränderungen die Grenzen der Belastbarkeit auf. Man kann anhand des Belastungs - EKGs genau feststellen, wie hoch ein Patient belastbar ist, bis es beispielsweise zu ischämischen ST-Senkungen, Extrasystolen oder Angina pectoris-Beschwerden kommt.

Somit ist das Belastungs-EKG eine ausgezeichnete Methode, um bei Patienten mit Verdacht auf Koronarinsuffizienz oder nach überstandenem Herzinfarkt die Grenzen der körperlichen Belastbarkeit festzustellen.

Auch das Nicht-Erscheinen eines steady state oder Ergostase bei einer bestimmten Belastungsdosis zeigen ungefähr an, wann die Ausbelastung erreicht ist.

Das Ergebnis des Belastungstests ermöglicht, unter Miteinbeziehung der anderen, aus Anamnese und Untersuchung gewonnenen Daten, eine adäquate Dosierung und Kontrolle des rehabilitiven Trainings.

4. LITERATUR ÜBER DIE GRENZEN DER STANDARDISIERTEN KREISLAUFBELASTUNG

Im Verlauf der täglichen Praxiserfahrung haben sich eine Reihe von Kontraindikationen für die Bewegungstherapie herauskristallisiert.

Nach Buchwalski (3), Häntzschel (6), Halhuber (7), Hüllemann (12), Milz (14), Kirchhoff (14) und Grünewald (16) ergeben sich folgende Gegenanzeigen für eine aktive Bewegungstherapie:

(1) hochgradige Einschränkung der Herzkreislauf-Leistungsbreite (Ruheinsuffizienz, Angina pectoris gravis, Herzinfarkt im Ausheilungsstadium IV)

(2) fortgeschrittene Lungenerkrankung mit Cor pulmonale chronicum (bei manifester Diffusionsstörung)

(3) maligne Hypertonie und medikamentös noch nicht ausreichend reduzierter Hypertonus

(4) schwere, hämodynamisch wirksame Arrhythmien und Erregungsleitungsstörungen (in Ruhe oder geringer Belastung)

(5) aktive entzündliche Herzerkrankung

(6) akute Infektionskrankheiten

(7) alle schweren Allgemeinerkrankungen

(8) bis sechs Monate nach einem apoplektischen Insult, auch wenn keine neurologischen Residualzustände mehr nachweisbar sind

(9) sicher pathologische Herzgröße, da eine zusätzliche körperliche Belastung die myokardiale Insuffizienz noch verstärken würde (3)

(10) frequenzstarre Herzschrittmacher

Ferner muß in diesem Zusammenhang noch gesagt werden, daß der Bewegungstherapie letzten Endes auch dort Grenzen gesetzt sind, wo Patienten dieser Form der ärztlichen Behandlung absolut negativ gegenüberstehen (6).

Ein weiterer, möglicherweise begrenzender Faktor kann der Zustand des Bewegungsapparates sein, der ja bei vielen Menschen bereits mehr oder weniger stark angeschlagen ist (22). Bei nicht zu starken Vorschädigungen ist es aber durch entsprechende Vor- und Nachbereitungsmaßnahmen möglich, dem Verletzungsrisiko weitgehend vorzubeugen.

Schließlich bleibt noch festzustellen, daß eine Terrainkur im Sinn von Oertel und Beckmann natürlich nur dort als Therapeutikum angeboten werden kann, wo das entsprechende Gelände zur Verfügung steht.

5. VERSUCHSBESCHREIBUNG UND METHODIK

5.1 Untersuchungsgut

Die Untersuchungsreihe fand in Bayersoien in Oberbayern statt.

Drei Frauen und sieben Männer im Alter zwischen 36 und 67 Jahren (Durchschnittsalter 53,7 Jahre) stellten sich freiwillig als Testpersonen zur Verfügung. Dabei handelte es sich bei drei Probanden um vom örtlichen Kurarzt empfohlene Kurgäste, während die anderen Personen Freiwillige aus dem Ort waren.

5.2 Versuchsablauf auf den Kurübungswegen

5.2.1 Wege

In Bayersoien wählte man vor allem unter folgenden Aspekten drei Kurterrainwege aus:

(1) die Strecken sollen sich hinsichtlich des Steigungsgrades sowohl voneinander unterscheiden, als auch einander ergänzen,

(2) sie sollen vom Kurhaus problemlos zu Fuß erreichbar sein,

(3) die Kurterrainwege sollten weder übermäßig besonnt noch zu sehr im Schatten sein.

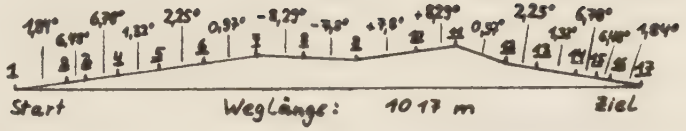
Dementsprechend wurden folgende drei Kurübungswege bestimmt:

I Schleifmühlweg (Länge: 1017 m, leichter Steigungsgrad)

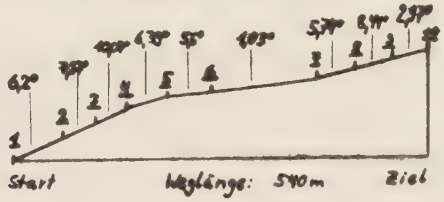
II Seebichl (Länge: 540 m, mittlerer Steigungsgrad)

III Kapellenbichl (Länge: 60 m, stärkerer Steigungsgrad)

I Schleifmühlweg



II Seebichl



III Kapellenbichl

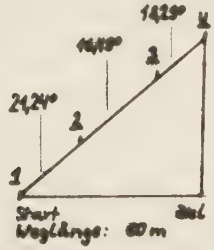


Abb. 1 Streckenprofile (grob schematisiert) der drei Kurübungswege, mit Angabe der einzelnen Markierungspunkte (= Meßpunkte 1,2,3 etc.), der Steigung α (in Grad) und der Gesamtlänge (m) eines jeden Weges.

Jeder dieser Wege wurde durch eine - dem jeweiligen Gelände entsprechende - Anzahl von Markierungspunkten unterteilt (Abb.1), an denen sowohl die Herzfrequenz (Hf) als auch die benötigte Zeit (min:sec) gemessen wurden ohne aber dabei zu pausieren. So verfügte Teststrecke I über 17, Strecke II über 10 und Strecke III über 4 derartige Meßpunkte.

5.2.2 Probanden

Für unsere Versuchsreihe konnten zehn Probanden gewonnen werden.

Tab. 1 Geschlecht, Alter, Gewicht der zehn Probanden

Proband-Nr.	Geschlecht	Alter	Gewicht (kg)
1	männlich	36	81
2	männlich	61	76
3	weiblich	67	53
4	weiblich	63	79
5	männlich	53	85
6	männlich	46	94
7	weiblich	55	66
8	männlich	49	64
9	männlich	65	86
10	männlich	42	85

Die Versuchsperonen - Nr. 1 bis 10 - wurden auf folgenden Kurübungswegen getestet:

I Schleifmühlweg ..... Proband Nr. 1/2/3/4/5/6/7/8

II Seebichl ..... Proband Nr. 1/2/3/4/5/6/7/ /9/10

III Kapellenbichl ..... Proband Nr. 1/2/3/4/5/6/7/8/ /10

5.2.3 Schritt-Takte

Um eine gewisse Leistungsstandardisierung zu erreichen, wurde allen Probanden ein bestimmter Schritt-Takt (S/min) vorgegeben, in dem sie die Übungswege zurücklegen sollten:

Strecke I (Schleifmühlweg) mit 68 S/min, 84 S/min, 100 S/min

Strecke II (Seebichl) mit 68 S/min, 84 S/min, 100 S/min

Strecke III (Kapellenbichl) mit 40 S/min, 68 S/min, 84 S/min

Die Wahl des Schritt-Takts wurde in Anlehnung an die Untersuchungen Christmanns (4) in Bad Tölz vorgenommen.

Jeder der drei Kurübungswege wurde von den oben genannten Probanden in den drei dafür vorgesehenen Schritt-Takten in je zwei Durchläufen begangen. Dabei wurde die Wegstrecke vom Startpunkt bis zum Ziel ohne weitere Zwischenpausen zurückgelegt.

5.2.4 Messungen

Im Geländetest wurden folgende Daten gemessen:

(1) die Herzfrequenz (Hf) am Startpunkt und allen anderen Meßpunkten (ohne Unterbrechung des Laufs),

(2) die Gesamtlaufzeit (min:sec) vom Startpunkt bis zum Ziel,

(3) die Zwischenlaufzeiten an den einzelnen Meßpunkten;

5.2.5 Technische Hilfsmittel

Die Herzfrequenz konnte durch ein elektronisches Herzfrequenz-Meßgerät[1)] ermittelt werden. Zwei an der Thoraxwand des Probanden angebrachte Elektroden (C4 links parasternal und symmetrisch rechts parasternal), sind über ein Kabel mit

1) Wilken-Kardiotachometer Typ 799

dem Kardiotachometer in der Hand des Untersuchers verbunden (Abb. 2). Das Gerät gibt ein akustisches Herzaktionssignal (Piep-Ton) wieder und erlaubt die Ablesung der Hf/min an einer Skala.

Die Laufzeit (Gesamt- und Zwischenlaufzeiten) wurde mittels einer Stoppuhr gemessen, den jeweiligen Schritt-Takt gab ein elektronisches Metronom über ein akustisches Signal vor (Abb. 2).

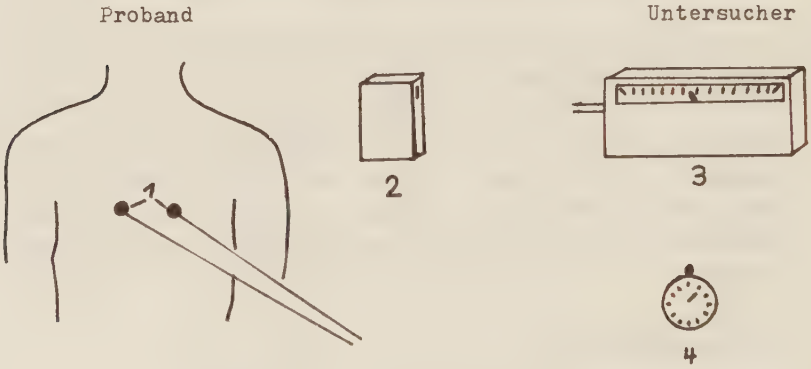


Abb. 2 Technische Hilfsmittel

1 Elektroden
2 elektronischer Impulsgeber
3 elektronisches Herzfrequenz-Meßgerät
4 Stoppuhr

5.3 Versuchsablauf auf dem Ergometer

Jede Versuchsperson wurde möglichst zwei Fahrradergometerbelastungen auf einem Gerät der Marke "Monark" unterzogen.

Die Belastung erfolgte stufenförmig mit 50 / 75 / 100 / 125 Watt und soweit möglich, auch mit 150 Watt.

Jede Belastungsstufe wurde über drei Minuten beibehalten, wobei am Ende der dritten Minute die Herzfrequenz abzulesen war. Die Herzfrequenz wurde wieder mit einem Kardiotachometer in der o.a. Weise gemessen (Abb. 2).

Die Untersuchung wurde sofort abgebrochen, wenn die Probanden über zu große körperliche Beschwerden klagten.

6. ERGEBNISSE

6.1 Terrain

Die auf den drei Kurübungswegen (Schleifmühlweg, Seebichl, Kapellenbichl) gemessenen Herzfrequenz-Werte sollen in den folgenden Abbildungen in Abhängigkeit vom jeweils vorgegebenen Schritt-Takt, dargestellt werden.

In jeder Abbildung sind die auf einem bestimmten Weg und bei einem bestimmten Schritt-Takt (40/68/84/100 Schritte/min) erreichten Pulsfrequenzen aller Teilnehmer (Einzel•- und Mittelwerte ●) ersichtlich.

Ferner werden jeweils pro Weg und pro Schritt-Takt die schnellste, mittlere und langsamste Gesamtlaufzeit, sowie die entsprechenden 'Zwischenlaufzeiten' angegeben.

Da es in dieser Untersuchung vor allem um die möglichen Streubreiten bei einer standardisierten Belastung geht, wird bei den Abbildungen weniger auf die spezifische Einzelleistung eines jeden Probanden Wert gelegt, sondern auf die Ergebnisse in ihrer Gesamtheit.

Die Maximal- und Minimalwerte der Herzfrequenzen ergeben zusammen ein mehr oder weniger breites 'Band', das die Variationsbreite veranschaulichen soll.

Die einzelnen Herzfrequenz-Werte jeder Versuchsperson sind dem Anhang zu entnehmen.

Von Interesse dürfte es auch sein, den Kurvenverlauf (Hf) mit dem Streckenverlauf zu vergleichen. Die Angabe der Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten (Abb. 3-11) soll dies in Verbindung mit den Streckenprofilen in Abb. 1 ermöglichen.

6.1.1 Schleifmühlweg

(1) Schritt-Takt: 68 Schritte/min

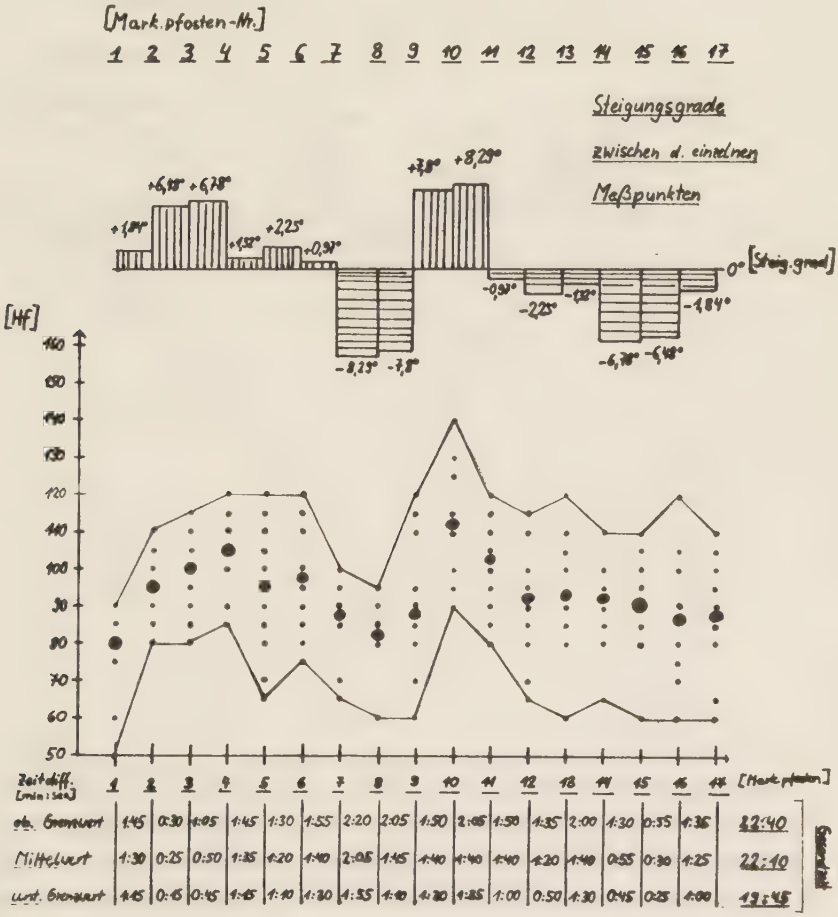


Abb. 3 oben: Angabe der Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten.
(+) gleich Steigung im Geländeverlauf,
(-) gleich Gefälle im Geländeverlauf,
Berechnung der Steigung α: $\sin\alpha = \frac{\Delta h}{1'}$

unten: Einzel• - und Mittelwerte ● der Herzfr.
Gesamt- und Zwischenlaufzeiten aller
Teilnehmer bei 68 S/min

(2) Schritt-Takt: 84 Schritte/min

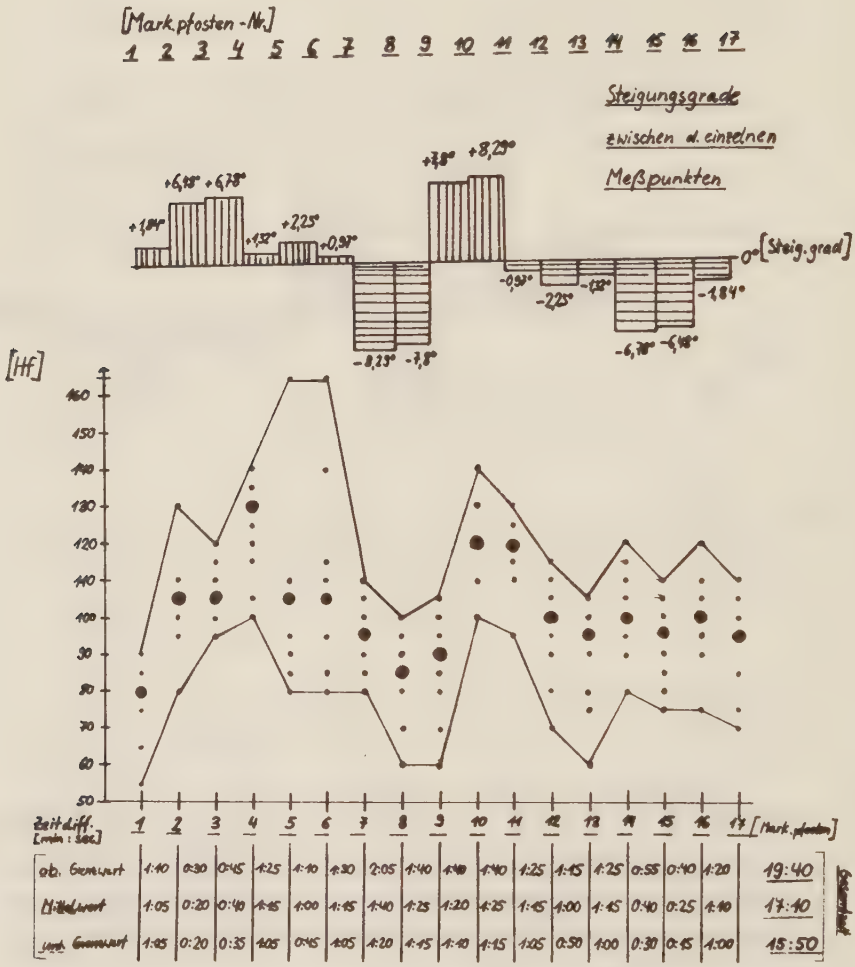


Abb. 4 oben: Angabe der Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten.
(+) gleich Steigung im Geländeverlauf,
(-) gleich Gefälle im Geländeverlauf,
Berechnung der Steigung α: $\sin\alpha = \frac{\Delta h}{1'}$

unten: Einzel- und Mittelwerte der Herzfr.,
Gesamt- und Zwischenlaufzeiten aller
Teilnehmer bei 84 S/min.

(3) Schritt-Takt: 100 Schritte/min

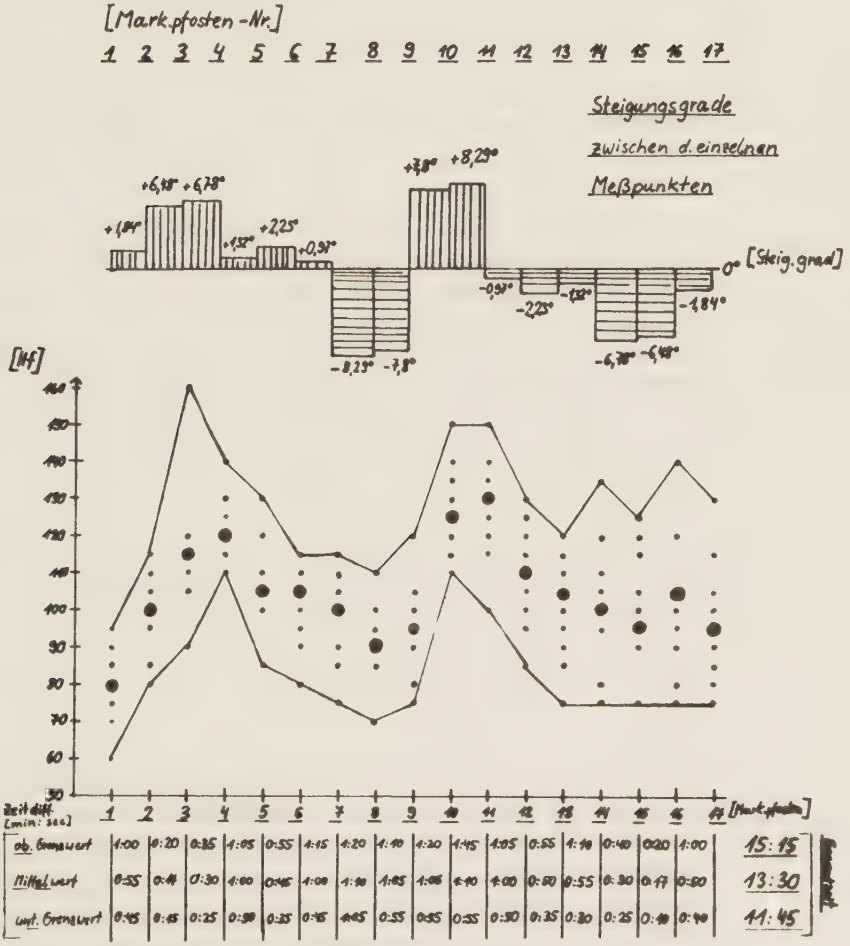


Abb. 5 oben: Angabe der Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten.
(+) gleich Steigung im Geländeverlauf,
(-) gleich Gefälle im Geländeverlauf,
Berechnung der Steigung α: $\sin\alpha = \frac{\Delta h}{l}$

unten: Einzel.- und Mittelwerte der Herzfr.,
Gesamt- und Zwischenlaufzeiten aller
Teilnehmer bei 100 S/min.

Bei einem Vergleich der Pulsfrequenz-"Bänder" am Schleifmühlweg (Abb. 3/4/5) mit dem Verlauf der Strecke (Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten) ergeben sich folgende Aspekte:

(1) Zwischen den Meßpunkten 8 und 9 steigt die mittlere Herzfrequenz (Hf) bei allen drei Schritt-Takten leicht an, obwohl das Gelände hier ein deutliches Gefälle aufweist (-7,8°).
Geht man davon aus, daß normalerweise die beim Abwärtsgehen zu erbringende Leistung im Gegensatz zur Belastung beim Aufwärtsgehen minimal ist, müßte die Herzfrequenz bei einem Gefälle eigentlich absinken.
Während dies offensichtlich noch zwischen den Meßpunkten 7 und 8 der Fall ist (Gefälle: -8,29° mittlere Herzfrequenz sinkt), erfordert das fortlaufend abschüssige Gelände ab Punkt 8 vom Körper vermutlich eine verstärkte Bremsarbeit, die einen Pulsfrequenzanstieg zur Folge hat.
Ein Gefälle im Streckenverlauf führt also nicht generell zu einer Minderbelastung des Organismus, es kann vielmehr auch - je nach Ausmaß der Wegneigung und der individuellen Leistungsfähigkeit - zu einer verstärkten Belastung infolge der zu verrichtenden Bremsarbeit kommen.

(2) Zwischen den Meßpunkten 9 und 10 steigt die mittlere Herzfrequenz (bei allen drei Schritt-Takten) um ca. 25 bis 30 S/min an. Dies dürfte mit der Steigung der Strecke um 7,8° zu erklären sein, die für das cardiovaskuläre System der meisten Probanden doch eine vergleichsweise stärkere Belastungsstufe darzustellen scheint.

(3) Dagegen wird die darauffolgende Steigung zwischen den Meßpunkten 10 und 11 beim langsamen und mittleren Schritt-Takt (68 und 84 S/min) schon wieder mit einem Absinken der mittleren Herzfrequenz beantwortet. Die Belastung war also vermutlich unterhalb der Ausdauergrenze, sodaß sich Herz- und Kreislauf (bei den meisten Probanden) sehr rasch darauf einstellen und ökonomisch reagieren konnten.
Im Gegensatz dazu, dürfte die Belastung bei Schritt-Takt 100 S/min im Durchschnitt weit höher gewesen sein, da es hier (Abb. 5) zu einem weiteren Anstieg der mittleren Herzfrequenz kommt.

(4) Ab Meßpunkt 11 (bis zum Streckenende) sinkt die mittlere Pulsfrequenz allmählich wieder zur Pulsausgangslage zurück. Wie aus den Abb. 3 bis 5 ersichtlich ist, fällt ab Punkt 11 die Wegstrecke bis zum letzten Meßpunkt ständig ab.
Lediglich zwischen den Meßpunkten 15 und 16 kommt es bei Schritt-Takt 84 und 100 S/min zu einem kurzfristigen Ansteigen der mittleren Herzfrequenz, was wiederum auf eine verstärkte Bremsarbeit zurückzuführen ist.

6.1.2 Seebichl

(1) Schritt-Takt: 68 Schritte/min

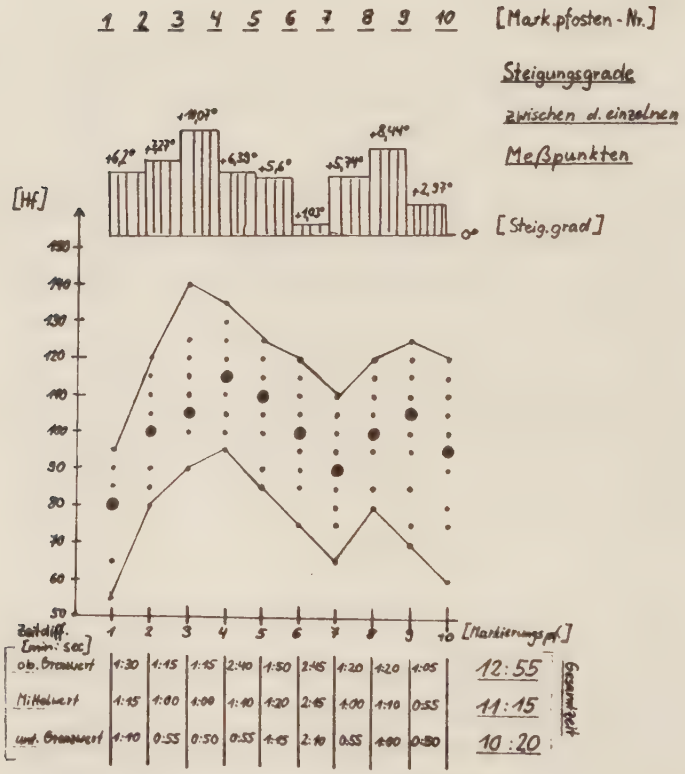


Abb. 6 oben: Angabe der Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten
(+) gleich Steigung im Geländeverlauf,
Berechnung der Steigung α : $\sin\alpha = \frac{\Delta h}{1'}$

unten: Einzel.- und Mittelwerte● der Herzfr.,
Gesamt- und Zwischenlaufzeiten aller
Teilnehmer bei 68 S/min.

(2) Schritt-Takt: 84 Schritte/min

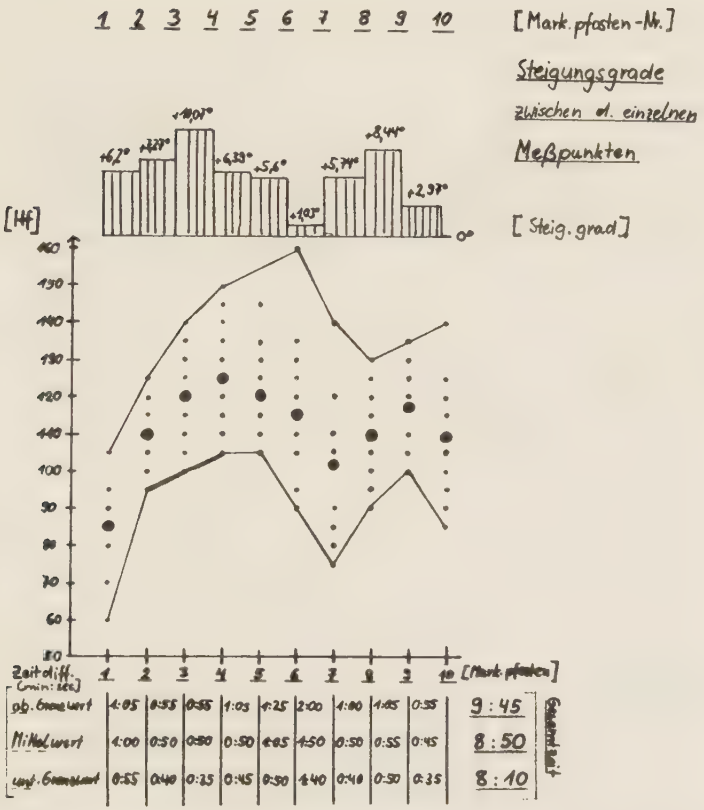


Abb. 7 oben: Angabe der Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten.
(+) gleich Steigung im Geländeverlauf,
Berechnung der Steigung α : $\sin\alpha = \frac{\Delta h}{1'}$

unten: Einzel.- und Mittelwerte● der Herzfr., Gesamt- und Zwischenlaufzeiten aller Teilnehmer bei 84 S/min.

(3) Schritt-Takt: 100 Schritte/min

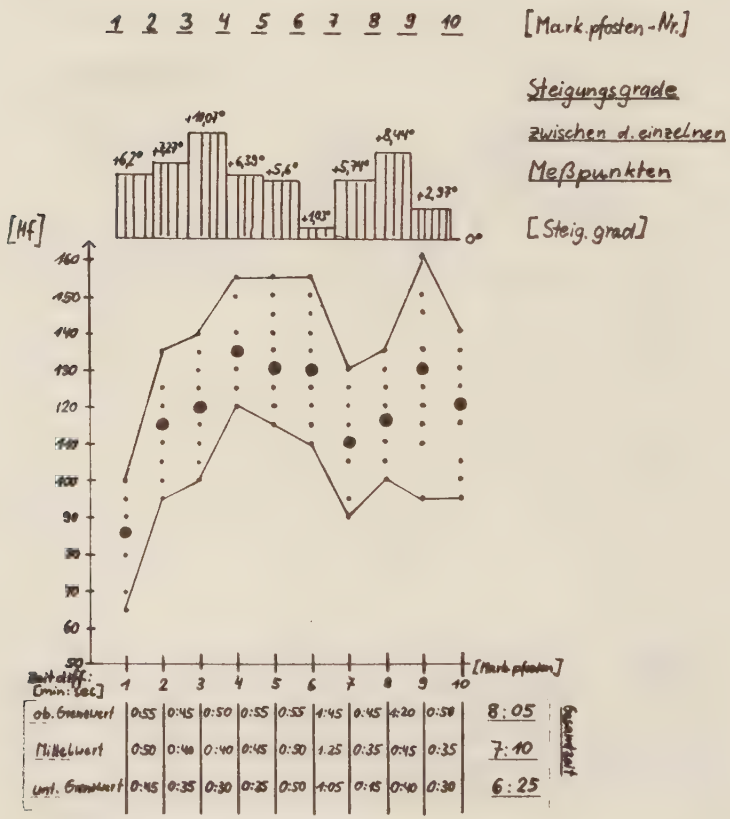


Abb. 8 oben: Angabe der Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten.
(+) gleich Steigung im Geländeverlauf.
Berechnung der Steigung α: $\sin\alpha = \frac{\Delta h}{l}$

unten: Einzel•- und Mittelwerte● der Herzfr., Gesamt- und Zwischenlaufzeiten aller Teilnehmer bei 100 S/min.

Vergleicht man den Verlauf der Herzfrequenz-Werte am Seebichl (Abb. 6/7/8) mit dem Streckenverlauf des Weges (Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten), kann man feststellen, daß die mittlere Pulsfrequenzkurve weitgehend dem Geländeverlauf entspricht.

(1) Zwischen den Meßpunkten 1 und 2 steigt die mittlere Herzfrequenz besonders stark an (bei allen drei Schritt-Takten um ca. 20 bis 30 S/min).
Dies ist mit der relativ starken Steigung des Weges (6,2°) zu begründen, die, gleich zu Beginn des Bergaufgehens, an das cardiovaskuläre System (aus der Ruhepulslage heraus) eine relativ große Anforderung darstellt. Bis Punkt 4 steigt die mittlere Herzfrequenz - in etwa den Steigungsgraden entsprechend - weiterhin an.

(2) Zwischen den Meßpunkten 4 und 7 flacht das Gelände zusehends ab (nur mehr geringe Steigung), wie auch in gleichem Maße die mittleren Herzfrequenz-Werte in diesem Streckenabschnitt allmählich absinken.

(3) Das wieder stärker ansteigende Gelände ab Meßpunkt 7 führt zu einer größeren Belastung für das Herz-Kreislaufsystem, was in einem erneuten Anstieg der Herzfrequenz-Mittelwerte resultiert.
Die nur mäßige Steigung zwischen den beiden letzten Meßpunkten läßt - nach dem vorausgehenden Steilstück (Nr. 7 bis 9) - die mittlere Pulsfrequenz wieder absinken.

6.1.3 Kapellenbichl

(1) Schritt-Takt: 40 Schritte/min

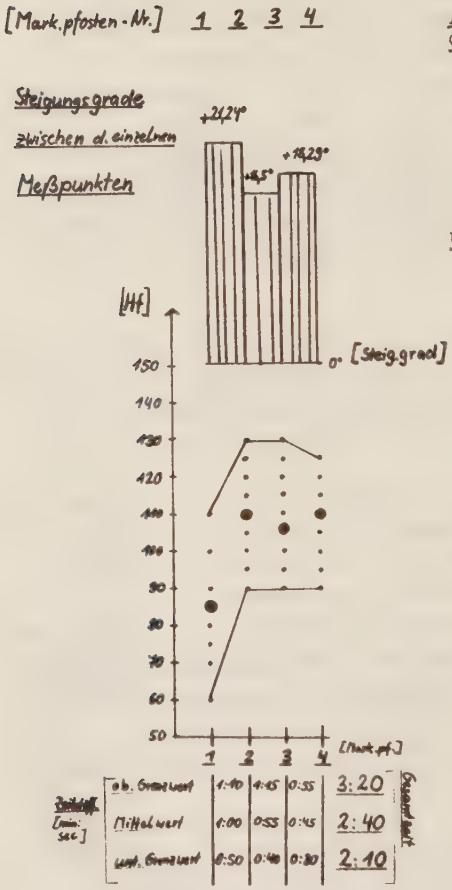


Abb. 9
oben: Angabe der Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten. (+) gleich Steigung im Geländeverlauf, Berechnung der Steigung α : $\sin\alpha = \frac{\Delta h}{l}$

unten: Einzel•- und Mittelwerte● der Herzfr., Gesamt- und Zwischenlaufzeiten aller Teilnehmer bei 40 S/min.

(2) Schritt-Takt: 68 Schritte/min

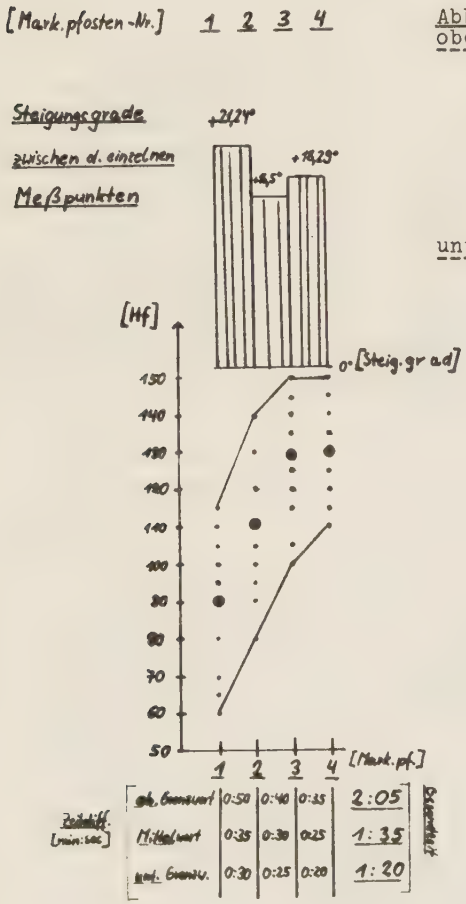
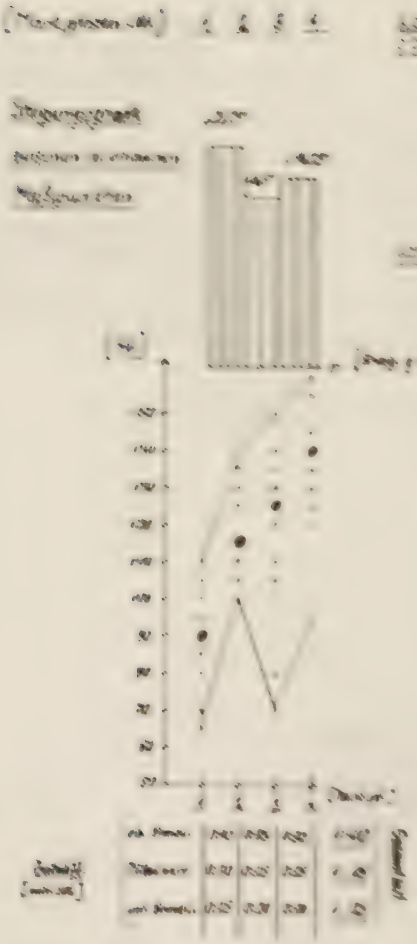


Abb. 10
oben: Angabe der Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten. (+) gleich Steigung im Geländeverlauf, Berechnung der Steigung α: $\sin\alpha = \frac{\Delta h}{l'}$

unten: Einzel•- und Mittelwerte● der Herzfr., Gesamt- und Zwischenlaufzeiten aller Teilnehmer bei 68 S/min.



Bei einem Vergleich der Herzfrequenz-Werte am Kapellenbichl (Abb. 9/10/11) mit dem Geländeverlauf (Steigungsgrade zwischen den einzelnen Meßpunkten), ergeben sich - je nach gewähltem Schritt-Takt - unterschiedliche Gesichtspunkte:

(1) 40 S/min

Die mittlere Pulsfrequenz stimmt weitgehend mit dem Streckenverlauf überein, d.h. die starke Anfangssteigung zwischen den Meßpunkten 1 und 2 wird mit einem sprunghaften Ansteigen der Herzfrequenz beantwortet. Die nachfolgend etwas geringere (aber immer noch große) Steigung führt zu einem leichten Absinken der mittleren Pulsfrequenz-Werte, um dann - mit zunehmender Steigung - ebenfalls wieder leicht anzusteigen. Das bedeutet, daß das cardiovaskuläre System sich nach der hohen Anfangsbelastung sehr rasch anpassen konnte und die Belastungsstufe noch soweit unterhalb der Ausdauergrenze ist, daß sich in etwa steady-state Bedingungen einstellen konnten.

(2) 68 S/min

Wie schon bei Schritt-Takt 40 S/min kommt es auch hier anfangs zu einem kräftigen Ansteigen der Herzfrequenz-Mittelwertskurve, doch im Gegensatz dazu, setzt sich dieser Anstieg auch noch zwischen den Meßpunkten 2 und 3 fort, obwohl die Steigung hier wesentlich geringer ist. Zwischen den beiden letzten Meßpunkten bleibt die mittlere Pulsfrequenz dann trotz einer geringfügigen Steigung, auf gleichem Niveau.
Die starke Anfangssteigung stellt zusammen mit dem relativ schnellen Gehtempo eine so große Belastungsstufe dar, daß Herz und Kreislauf sich trotz der reduzierten Steigung nicht sofort darauf einstellen können (Nachwirkung!) und erst gegen Ende der Strecke sich ein steady-state einstellen kann.

(3) 84 S/min

Dieses sehr rasche Gehtempo führte, in Verbindung mit dem steilen Gelände, sehr viele unserer Probanden an die Grenzen ihrer Belastungsfähigkeit. Die Herzfrequenz-Mittelwertskurve steigt ständig an, sie pendelt sich nicht mehr - wie bei den Schritt-Takten 40 und 68 S/min - auf ein bestimmtes Niveau ein, d.h. es werden keine steady-state Bedingungen mehr erreicht.

(4) Bei Betrachtung der einzelnen Hf-Werte in Abb. 9 fällt auf, daß es bei Schritt-Takt 40 S/min zu einer zunehmenden Einengung des Streubereichs gegen Ende der Strecke kommt. Die gleiche Tendenz kann auch bei Schritt-Takt 68 S/min (Abb. 10) beobachtet werden, wenn auch weniger ausgeprägt als bei Schritt-Takt 40 S/min.
Im Gegensatz dazu, ist bei Schritt-Takt 84 S/min (Abb. 11) eine Ausweitung des Streubereichs festzustellen.
Als Ursache kann angeführt werden, daß die Belastungsstufe bei Schritt-Takt 40 S/min und 68 S/min bei den meisten Probanden noch unterhalb ihrer Ausdauergrenze war, sodaß sich Herz und Kreislauf nach der hohen Anfangsbelastung relativ rasch anpassen konnten. Dabei konnte sich beim langsamen Gehtempo noch eher ein steady-state einstellen (deutliche Einengung des Streubereichs bei Meßpunkt 4 in Abb. 9) als bei Schritt-Takt 68 S/min.

Bei Schritt-Takt 84 S/min dagegen, lag die Belastungsstufe offensichtlich über der Ausdauergrenze unserer Probanden. Das cardiovaskuläre System konnte keine steady-state Bedingungen mehr erreichen, die Hf-Werte pendelten sich nicht auf ein bestimmtes Niveau ein, der Streubereich der Pulswerte weitete sich aus.

6.2 Ergometrie

Auf der folgenden Abbildung sind die bei der Fahrradergometrie gemessenen Herzfrequenz-Werte aller Probanden, in Abhängigkeit von der jeweiligen Belastungsstufe dargestellt. Alle Versuchspersonen haben, mit Ausnahme der Probanden Nr. 3 und Nr. 9, den Test zweimal durchgeführt. Auf eine völlige Ausbelastung der Patienten wurde verzichtet, um jegliches Risiko zu vermeiden.
In Abb. 12 sind die Ergebnisse in ihrer Gesamtheit festgehalten, die Einzelwerte eines jeden Probanden sind dem Anhang zu entnehmen.

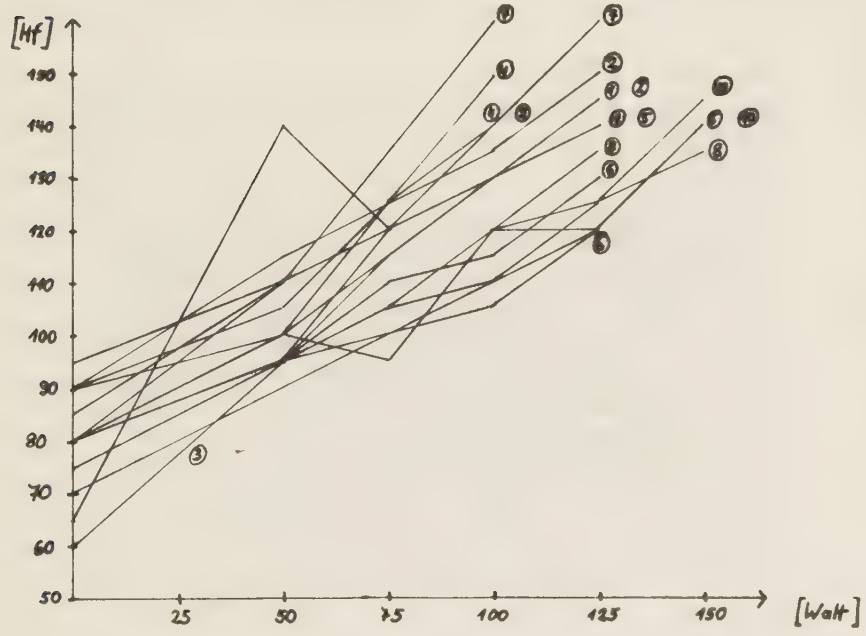


Abb. 12 Pulsfrequenzkurven aller Probanden (= Nr. ① ② ③ etc.) bei den zwei Ergometertests. Belastungsstufe: 50/75/100/evtl.125/150 Watt je drei Minuten, Ablesung der Hf in der 3. Minute. Jeder Proband führte, mit Ausnahme der Probanden Nr. 9 und Nr. 10, zwei Versuche auf dem Fahrradergometer durch.

6.3 Beziehung zwischen Terraingang und Ergometrie

Um die Versuchsergebnisse im Terrain und auf dem Fahrradergometer miteinander in Beziehung setzen zu können, ist die Erstellung von Vergleichsdiagrammen notwendig.
Anhand der Pulswerte bei den Gehtests im Gelände (s.Anhang) wurden drei Versuchspersonen ausgewählt, deren Werte in etwa die Streubreiten des Probandenkollektivs repräsentieren.

Proband Nr. 6 (♂) ..... entspricht etwa den Mittelwertskurven (Hf) in Abb. 3 bis 11

Proband Nr. 4 (♀) ..... zeigt häufig relativ hohe Pulsfrequenzen

Proband Nr. 3 (♀) ..... zeigt häufig die niedrigsten Pulsfrequenzen aller Probanden

Voraussetzung für den direkten Vergleich Ergometrie/ Terraingang ist die Darstellung von Regressionslinien für die Beziehung Ergometerbelastung (Watt) zur Herzfrequenz (Schläge /min). In den Abb. 13 bis 15 wurden dafür die, bei der Fahrradergometrie gemessenen Pulswerte der drei Probanden aus zwei Versuchen zugrunde gelegt (Ausnahme: Versuchsperson Nr. 3 mit nur einem Ergometerversuch). Es wurde bei jedem der drei Probanden versucht, anhand der zwei Hf-Kurven aus den beiden Ergometertests eine möglichst genaue Mittelwertskurve (Hf) als Basis für die einzelnen Regressionslinien darzustellen (Ausnahme: Proband Nr. 3 mit nur einem Ergometerversuch).
Mittels der gestrichelten Linien (=Regressionslinien) in den Abb. 13/14/15 konnte für jede der drei Versuchspersonen aus der jeweiligen Herzfrequenz die entsprechende ergometrische Leistungsäquivalenz (Watt) dargestellt werden.

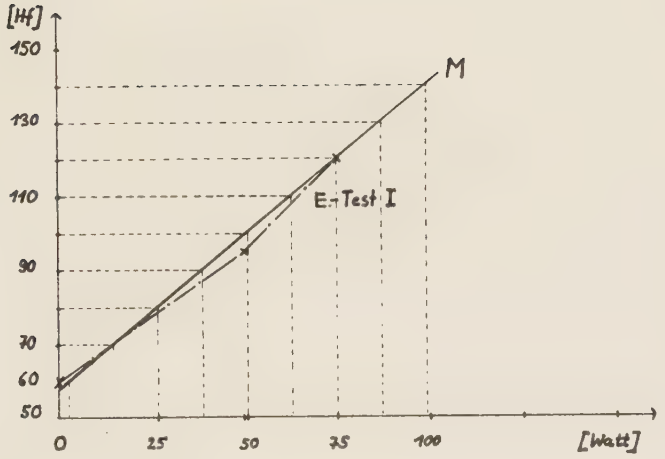


Abb. 13 Basis der Beziehung von Ergometerbelastung zur Belastung beim Gehen auf Kurübungswegen bei Proband Nr. 3: dargestellt sind die, bei einem Versuch auf dem Fahrradergometer von Proband Nr. 3 erreichten Hf-Werte (= x) bei 50 und 75 Watt, sowie der Ruhepuls;
1. Versuch auf dem Ergometer = E.-Test I (-.-.)
2. Versuch(nicht durchführbar).
durch die Kurve wurde eine Mittelwertskurve M (——) gelegt;
die gestrichelten Linien zeigen, wie aus der Herzfrequenz die ergometrische Leistungsäquivalenz (Watt) ermittelt werden kann;

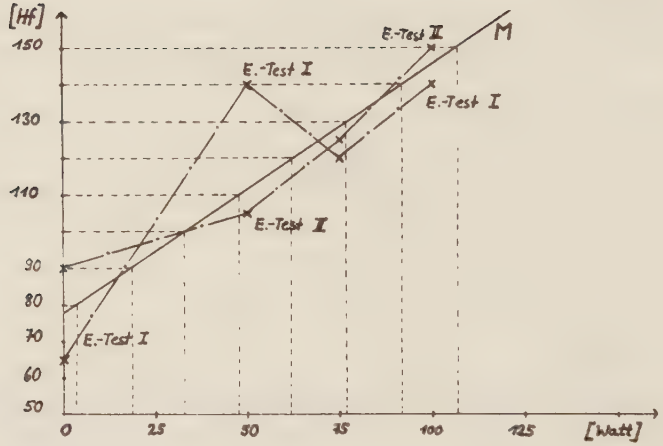


Abb. 14 Basis der Beziehung von Ergometerbelastung zur Belastung beim Gehen auf Kurübungswegen bei Proband Nr. 4:
dargestellt sind die, bei zwei Versuchen auf dem Fahrradergometer von Proband Nr. 4 erreichten Hf-Werte (=x) bei 50/75/100 Watt, sowie der Ruhepuls;
1. Versuch auf dem Ergometer = E.-Test I (-.-.)
2. Versuch auf dem Ergometer = E.-Test II(-.-.)
durch beide Kurven wurde eine Mittelwertskurve M (—) gelegt;
die gestrichelten Linien zeigen, wie aus der Herzfrequenz die ergometrische Leistungsäquivalenz (Watt) ermittelt werden kann;

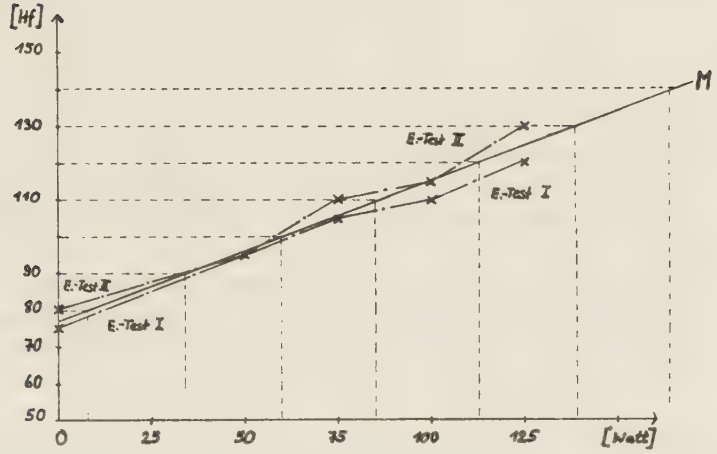


Abb. 15 Basis der Beziehung von Ergometerbelastung zur Belastung beim Gehen auf Kurübungswegen bei Proband Nr. 6:
dargestellt sind die, bei zwei Versuchen auf dem Fahrradergometer von Proband Nr. 6 erreichten Hf-Werte (= ✱) bei 50/75/100/125 Watt, sowie der Ruhepuls;
1. Versuch auf dem Ergometer = E.-Test I (-.-.)
2. Versuch auf dem Ergometer = E.-Test II (-.-.)
durch beide Kurven wurde eine Mittelwertskurve M (——) gelegt;
die gestrichelten Linien zeigen, wie aus der Herzfrequenz die ergometrische Leistungsäquivalenz (Watt) ermittelt werden kann;

Wie schon der Verlauf der einzelnen Mittelwertskurven (Hf) andeutet (z.B. ist die Mittelwertskurve von Proband Nr. 4 steiler als die der Probanden Nr. 3 und Nr. 6), ergeben sich bei der Berechnung der individuellen ergometrischen Leistungsäquivalenz (= eLä) einige Unterschiede. So entspricht z.B. die Pulsfrequenz 100 S/min bei Proband Nr. 3 der eLä von ca. 50 Watt, bei den Versuchspersonen Nr. 4 und Nr. 6 dagegen ca. 33 bzw. 60 Watt.

Nach E.A. Müller (15) bezeichnet man die, je nach Leistungsfähigkeit, unterschiedliche Steilheit des Pulsfrequenzanstiegs bei zunehmender Leistung als Leistungs-Pulsindex (LPI). Müller stellte bei konstant steigender Belastung einen streng linearen Anstieg des O_2-Verbrauchs mit der Leistung einerseits und der Arbeitspulsfrequenz mit dem Sauerstoffverbrauch andererseits fest, was unter Umgehung der Respirationsversuche die Bestimmung der erbrachten Leistungen aus der Arbeitspulsfrequenz gestattete.

Dadurch ist der LPI definiert als Regressionskoeffizient zwischen Pulsfrequenz und Leistung mit der Maßeinheit Pulsfrequenzanstieg/1mkg sec^{-1} pro 10 Watt Leistungsanstieg (17).

Ermittelt man anhand der Mittelwertskurven (Hf) aus den Abb. 13/14/15 für jeden Probanden den LPI, so ergeben sich folgende Werte:

Proband Nr. 3 (♀) ..... LPI = 8,33
Proband Nr. 4 (♀) ..... LPI = 6,66
Proband Nr. 6 (♂) ..... LPI = 3,75

Der LPI liegt bei Männern normalerweise zwischen 2,0 und 3,5 (Mittelwert 2,8 $\pm$ 0,6), bei Frauen zwischen 4,5 und 6,0 (Mittelwert 5,3). Ist der Index niedriger, verfügt der Kreislauf i.a. über eine größere Leistungsbreite, dagegen deutet ein hoher LPI auf eine schlechte körperliche Leistungsfähigkeit (14).

Anhand einer graphischen Darstellung der Häufigkeitsverteilung des LPI nach E.A.Müller (15) bei Versuchspersonen mittleren Alters kann das Verhalten der Indices unserer drei Probanden ungefähr eingeschätzt werden (Abb.16).

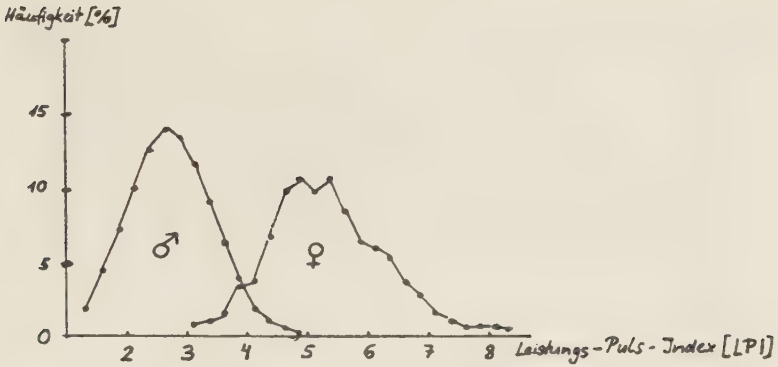


Abb. 16 Häufigkeitsverteilung des Leistungs-Pulsindex nach E.A. Müller (15). Pulsfrequenzerhöhung bei einer Leistungsänderung um 10 Watt/min auf dem Fahrradergometer, Männer und Frauen mittleren Alters.

Demnach würden die Indices der Probandinnen Nr. 3 und Nr. 4 auf eine relativ eingeschränkte körperliche Leistungsfähigkeit hinweisen, während der LPI von Proband Nr. 6 eher eine mittlere Kreislaufbreite andeutet.

Es ist jedoch bei der Beurteilung des LPI zweckmäßig, auch das Körpergewicht mitzuberücksichtigen, denn ein LPI, der für einen 80 kg schweren Menschen noch Ausdruck einer eingeschränkten Leistungsbreite des Kreislaufs ist, kann bei einem Menschen von 50 kg Gewicht auf eine mittlere Leistungsbreite hinweisen (15).

Die Beziehung zwischen den Ergebnissen des Terraingangs und denen aus der Fahrradergometrie soll mit Hilfe der folgenden graphischen Darstellungen veranschaulicht werden:

- Abb. 17/18 zeigen die Hf-Kurven (Mittelwerte aus zwei Läufen) der drei Probanden (Nr. 3/4/6) beim jeweils langsamsten und schnellsten Schritt-Takt auf den zwei Kurübungswegen Seebichl und Kapellenbichl (Seebichl: 68 S/min und 100 S/min, Kapellenbichl: 40 S/min und 84 S/min).

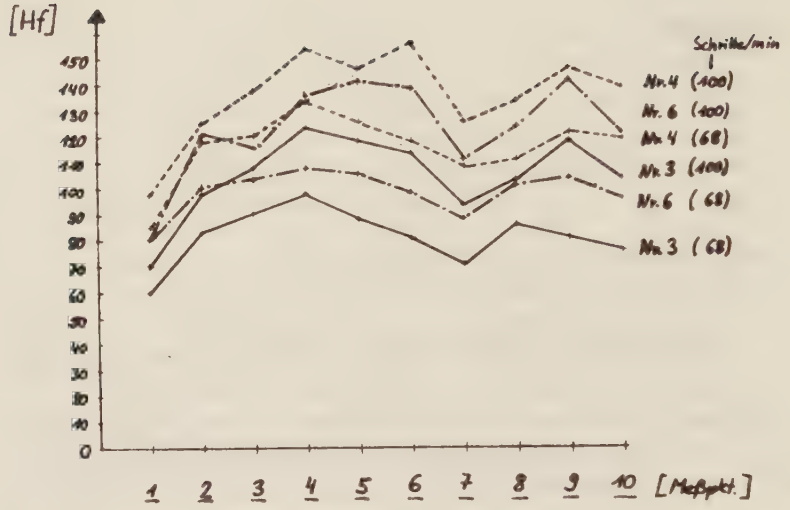


Abb. 17 Seebichl
Mittelwertskurven (Hf) aus zwei Begehungen der Probanden Nr. 3 (–), Nr. 4 (- - -), Nr. 6 (·-·-) beim jeweils langsamsten (68 S/min) und schnellsten (100 S/min) Schritt-Takt auf diesem Kurübungsweg.

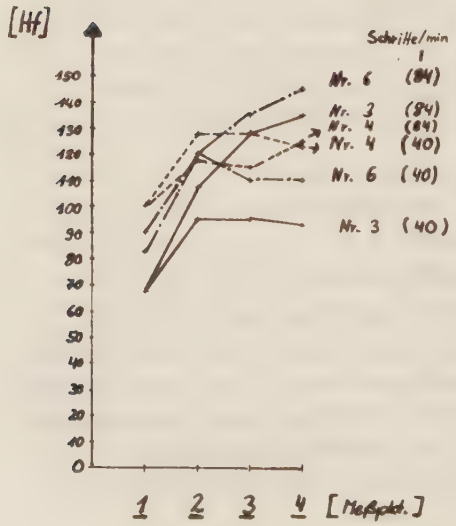


Abb. 18 Kapellenbichl
Mittelwertskurven (Hf) aus zwei Begehungen der Probanden Nr. 3 (–), Nr. 4 (- - -), Nr. 6 (·-·-) beim jeweils langsamsten (40 s/min) und schnellsten (84 S/min) Schritt-Takt auf diesem Kurübungsweg.

- Abb. 19/20 zeigen an jedem Meßpunkt die, mittels der Regressionslinien (s. Abb. 13/14/15) aus den Hf berechneten ergometrischen Leistungsäquivalenzen (Watt) und den daraus resultierenden Kurvenverlauf der drei Probanden beim jeweils langsamsten und schnellsten Schritt-Takt auf den zwei Kurübungswegen Seebichl und Kapellenbichl (analog zu Abb. 17/18). Der Kurvenverlauf der ergometrischen LÄen (Watt) in den Abb. 19/20 soll verdeutlichen, welcher Belastungsstufe der Fahrradergometrie die im Terrain gemessene Pulsfrequenz entsprochen hätte.

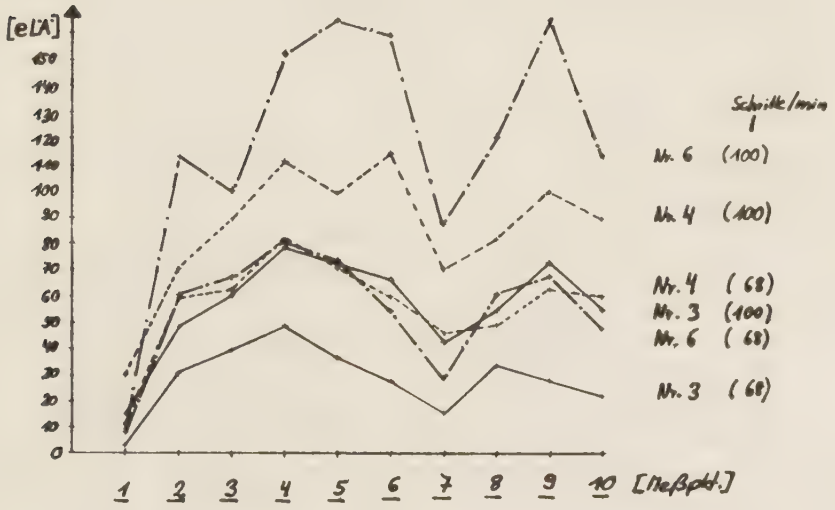


Abb. 19 Seebichl
Darstellung der ergometrischen Leistungsäquivalenz (Watt) der Probanden Nr. 3(—), Nr.4(---), Nr. 6(·--·) beim jeweils langsamsten (68 S/min) und schnellsten (100 S/min) Schritt-Takt auf diesem Kurübungsweg (berechnet mittels der Regressionslinien aus der Hf, s. Abb. 13/14/15). Die Kurven der ergometrischen LÄ sind analog zu den Hf-Mittelwertskurven (aus zwei Begehungen) in Abb. 17/18 und veranschaulichen, welcher Belastungsstufe der Fahrradergometrie die, an den einzelnen Meßpunkten gemessene Hf entsprochen hätte.

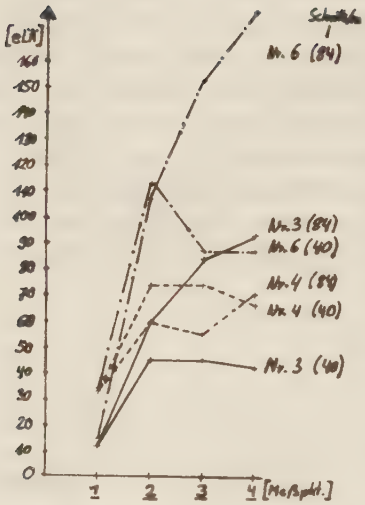


Abb. 20 Kapellenbichl
Darstellung der ergometrischen Leistungsäquivalenz (Watt) der Probanden Nr. 3 (–), Nr. 4 (···), Nr. 6 (—·—) beim jeweils langsamsten (40 S/min) und schnellsten (84 S/min) Schritt-Takt auf diesem Kurübungsweg (berechnet mittels der Regressionslinien aus der Hf, s. Abb. 13/14/15). Die Kurven des ergometrischen LÄ sind analog zu den Hf-Mittelwertskurven (aus zwei Begehungen) in Abb. 17/18 und veranschaulichen, welcher Belastungsstufe der Fahrradergometrie die, an den einzelnen Meßpunkten gemessene Hf entsprochen hätte.

Beim Vergleich der Abb. 17/18 mit den Abb. 19/20 ergeben sich folgende Aspekte:

- Die Kurven der ergometrischen LÄ (Watt) sind den Hf-Mittelwertskurven bezüglich ihrer Verlaufsform zwar ähnlich, doch weisen die Kurven der ergometrischen LÄ sowohl eine erheblich größere Streuung als auch eine veränderte Relation der Einzelkurven zueinander auf. So fällt beispielsweise auf, daß Proband Nr. 6 in den Abb. 19/20 bei den ergometrischen LÄ-Kurven häufig Höchstwerte erreicht, während bei den Hf-Mittelwertskurven i.a. Probandin Nr. 4 die höchsten Pulsfrequenzen zeigt (Ausnahme: Abb. 18).
- Die errechneten und auf die Gehtests im Terrain projizierten Werte der ergometrischen LÄ (Watt) übersteigen z.T. erheblich die bei der Fahrradergometrie festgestellten Ausbelastungsgrenzen der drei Testpersonen.

6.4 Formel zur Leistungsberechnung

In diesem Zusammenhang soll kurz eine von Hofmann und Leiner (9) propagierte Formel zur Leistungsberechnung beim Bergaufgehen betrachtet werden (vgl. Kap. 7.3), die auf einer für ein Laufbandergometer entwickelten Formel von Schönenberger (9) basiert. Bei der Hofmann-Leinerschen Formel entspricht die Belastung einer Funktion von Geschwindigkeit und Steigung.

Es soll mittels der einfachen, linearen Formel festgestellt werden, welche Leistung (Watt) theoretisch beim Begehen des Kurübungsweges Seebichl in einer vorgegebenen Zeit aufzubringen ist. Die durch die Formel gewonnenen Resultate sollen dann mit den in Abb. 19 dargestellten ergometrischen LÄ verglichen werden.

Die lineare Formel für die Berechnung der Leistung beim Bergaufgehen lautet (9):

$$\text{LEISTUNG (Watt)} = 187{,}04\ (v \cdot \sin\alpha) + 10{,}66$$

v = Geschwindigkeit (km/Std.) = Länge der Strecke/Zeit $= \frac{s}{t}$ (km/Std.)

α = Steigungswinkel der Strecke in Grad

Beispiel 1: Seebichl, 68 S/min, mittlere Laufzeit (Abb. 6)

Gesucht ist die Leistung (Watt), die von einer Person aufzubringen ist, die mit einem Schritt-Takt von 68 S/min geht und die Strecke in der mittleren Zeit von 11:15 min zurücklegt (vgl. Abb. 6).

v = Geschwindigkeit (km/Std.) = $\frac{s}{t}$

s = 0,5395 km (Streckenlänge Seebichl)

t = 11:15 min = 0,1875 Std.

α = 5,4° (mittlere Steigung des Weges)

$\sin\alpha$ = 0,094

x Watt = 187,04 $(\frac{0,5395}{0,1875} \cdot 0,094) + 10,66$

Leistung x = 61,25 Watt

Beispiel 2: Seebichl, 68 S/min, schnelle Laufzeit (Abb. 6)

v = Geschwindigkeit (km/Std.) = $\frac{s}{t}$

t = 10:20 min = 0,1722 Std.

s = s.o.

α = s.o.

Leistung x = 65,74 Watt

Beispiel 3: Seebichl, 68 S/min, langsamste Laufzeit (Abb. 6)

v = Geschwindigkeit (km/Std.) = $\frac{s}{t}$

t = 12:25 min = 0,2153 Std.

s = s.o.

α = s.o.

Leistung x = 54,72 Watt

Die aufgrund der Formel rechnerisch ermittelte Leistung liegt also zwischen ca. 55 und 65 Watt.

Vergleicht man diese berechneten Werte mit den Kurven der ergometrischen LÄ der drei Versuchspersonen in Abb. 19, so ergeben sich bei Schritt-Takt 68 S/min folgende Mittelwerte (Watt) über die Gesamtstrecke:

Proband Nr. 3 (♀) ..... 27,9 Watt (ergometrische LÄ)
Proband Nr. 4 (♀) ..... 55,6 Watt (ergometrische LÄ)
Proband Nr. 6 (♂) ..... 54,4 Watt (ergometrische LÄ)

Für die, besonders bei Proband Nr. 3 auffallende Diskrepanz kann folgende Begründung angeführt werden:

- Die rechnerisch ermittelte Leistung setzt eine konstante Leistung während der gesamten Gehzeit voraus. Dies ist aber im Gelände mit den stark wechselnden Steigungen nicht möglich. Der Organismus reagiert auf die ständig wechselnden Belastungsstufen mit unterschiedlichen Leistungsanstrengungen, die zwar rein rechnerisch gemittelt werden können, dann aber das tatsächliche Ausmaß der Leistungsfähigkeit kaschieren würde.

- Ferner bleibt zu beachten, daß die ergometrische LÄ nicht die tatsächliche Leistung bei der Begehung der Strecke angibt, sondern lediglich eine mittels Regressionslinien darzustellende rechnerische Größe ist (s.Abb. 13/14/15).

- Ein sehr wesentlicher Faktor zur Leistungsberechnung beim Bergaufgehen - das individuelle Körpergewicht - findet in der angegebenen Formel keine Berücksichtigung.

Eine abschließende Betrachtung der von Hofmann und Leiner entwickelten Algorithmen erfolgt in Kap. 7.3.

7. DISKUSSION

7.1 Die möglichen Ursachen für die Streubreiten der Hf-Werte

7.1.1 Interpersonelle Streuung der Herzfrequenzen

Wie aus den Abb. 3 bis 11 ersichtlich ist, erreichten unsere Versuchspersonen bei den Gehtests im Terrain an den einzelnen Meßpunkten teilweise sehr unterschiedliche Hf-Werte. Da wir nur über eine relativ kleine Zahl an Versuchspersonen verfügen konnten, ist es schwierig,eindeutige Beziehungen zwischen bestimmten Einflußgrößen und bestimmten Ergebnissen herzustellen.

Von unseren zehn Probanden waren vier jünger als 50 Jahre, sechs zwischen 53 und 67 Jahren. Von den sieben männlichen Versuchspersonen waren fünf mehr oder weniger adipös, von den drei Damen war nur eine übergewichtig (vgl. Kap. 5.2.2, Tab. 1). Nur vier Testpersonen gaben an, relativ häufig zu wandern, die anderen gestanden, ziemlich unsportlich zu sein.

Welche Faktoren könnten also für die Streuung der Hf-Werte bei den Terraintests dieser Untersuchungsreihe verantwortlich gemacht werden?

(1) Körperliche Konstitution

- Größe

  da große Menschen i.a. über eine weitaus größere Schrittlänge verfügen als kleinwüchsige Personen, können sie - auch bei vorgegebener Schrittfrequenz - mit wesentlich weniger Schritten das Ziel erreichen als kleine Menschen. Der verminderte Arbeitsaufwand kann sich in einer vergleichsweise niedrigen Hf darstellen.

- Gewicht

  ob sich das Körpergewicht entscheidend auf die Pulsfrequenz auswirkt, hängt in erster Linie von der Beschaffenheit des Geländes ab. Während beim Gehen in der Ebene

die Hf nur gering vom Körpergewicht beeinflußt wird, ist beim Bergaufgehen das Gewicht eine sehr entscheidende Einflußgröße für das Pulsverhalten. Je höher das Gewicht, um so mehr müssen Herz und Kreislauf beim Bergaufgehen leisten. Die Mehrbelastung resultiert in einem erhöhten Hf-Anstieg und früheren Erreichen der Leistungsgrenze.

- Allgemeiner Gesundheitszustand

Vorliegen von Risikofaktoren, v.a. Nikotinabusus, erhöhter RR, Adipositas;
Zustand des Bewegungsapparates und individuelle Gehtechnik;
körperliches und psychisches Wohlbefinden, Freude oder Unlust an Bewegung;
individueller Trainingszustand;
unterschiedliche "physiologische" Pulsausgangslagen: z.B. war bei Probandin Nr. 3 meist ein vergleichweise geringer Ruhepuls (55 bis 65 S/min) festzustellen;

(2) Alter

Die maximale Pulsfrequenz unterliegt mit zunehmenden Alter einem gewissen "Bremseffekt", da die Elastizität des cardiovaskulären Systems dem Alterungsprozeß unterliegt (10). Dies kann u.U. bei einer nur scheinbar guten, ökonomischen Herzarbeit zu gefährlichen Fehleinschätzungen führen. Deshalb eignet sich die Hf nur bei gesunden Menschen unter 50 Jahren als verlässlicher Leistungsparameter.

In diesem Zusammenhang sei auf die Pulsfrequenzen von Probandin Nr. 3 (s. Anhang) verwiesen, die als Älteste fast immer die niedrigsten Hf-Werte im Terraintest aufweist (aber auch über einen relativ niedrigen Ruhepuls verfügt).

(3) Geschlecht

Für eine differenzierte Betrachtungsweise war der Rahmen dieser Untersuchung zu klein.

Bassey (1) stellte bei seinen Untersuchungen (Gehtests in der Ebene mit freier Wahl der Gehgeschwindigkeit) fest, daß Frauen im Mittel eine um 4,4 Schläge/min höhere Hf haben, als Männer. Er begründet dies mit dem prozentual höheren Fettanteil des weiblichen Körpers und der damit verbundenen Mehrbelastung des Organismus. Weitere Untersuchungen ergaben, daß die geschlechtsspezifischen Unterschiede verschwinden, wenn bei jedem Probanden (weiblich oder männlich) der prozentuale Fettanteil als Bezugsgröße festgesetzt wird.

(4) Äußere Einflüsse

- Wetter
- Klima
- Kurbetrieb

Da unsere Versuche von extremen Witterungsverhältnissen verschont wurden und auch keiner unserer Probanden sehr intensiv im Kurbetrieb eingegliedert war, können diesbezüglich keine genaueren Anhaltspunkte vorgelegt werden.

Alle genannten Faktoren beeinflussen in einem noch näher zu untersuchenden Ausmaß die Pulsfrequenz beim Gehen im Gelände und führen damit zu den in den Ergebnissen sichtbaren Streubreiten. Inwieweit aber die einzelnen Faktoren bei unseren Untersuchungen zu den Streubreiten beigetragen haben, kann aufgrund unseres relativ kleinen Probandenguts nicht eindeutig festgelegt werden.

Bassey (1) kommt in seinen Untersuchungen zu dem Schluß, daß die große Streuung im Hf-Verhalten nur sehr begrenzt mit den Einflußgrößen 'körperliche Konstitution', 'Geschlecht' und 'Alter' zu begründen ist.

Die Streubreiten (Hf) müssen seiner Ansicht primär dem individuellen körperlichen Trainingszustand und den unterschiedlichen genetischen Voraussetzungen zugeschrieben werden.

Inwieweit sich der Trainingseffekt bei unseren vier 'sportlichen' Probanden (Nr. 2/3/5/7) auf die Hf auswirkt oder aber von anderen Einflußgrößen (z.B. ist Nr. 5 relativ schwer, Nr. 3 ist die älteste Teilnehmerin) überlagert wird, ist im Rahmen dieser Untersuchung nicht eindeutig zu belegen.

7.1.2 Intrapersonelle Streuung der Hf-Werte

Neben den interpersonellen Streuungen der Hf-Werte sind auch die intrapersonellen Varianten des Pulsfrequenzverhaltens von Interesse.

Unsere Versuchspersonen hatten die Aufgabe, jeden der drei Kurübungswege mit drei verschiedenen Schritt-Takten zweimal zu begehen. Wie dem Anhang zu entnehmen ist, kam es bei den je zwei Begehungen pro Weg und Schritt-Takt an ein und demselben Meßpunkt gelegentlich zu sehr unterschiedlichen Hf-Werten (z.B. Proband Nr. 1, Schleifmühlweg, Schritt-Takt 68 S/min bei Meßpunkt Nr. 16: 1. Lauf 105 S/min, 2. Lauf 75 S/min).

Für diese unterschiedlichen Meßwerte dürften folgende Faktoren verantwortlich sein:

(1) mangelnde Vertrautheit mit der Methode führte häufig zu allgemein höheren Hf während der ersten Begehung (z.B. bei Probanden Nr. 1/2/10 auf dem Schleifmühlweg, 68 S/min); beim zweiten Lauf waren nicht nur die Hf während des Versuchs niedriger, sondern auch der Ruhepuls zu Beginn des Tests;

(2) allgemeines körperliches und seelisches Wohlbefinden, das von vielen Faktoren (Klima, Wetter, Streßsituation in Beruf und Familie etc.) mitbestimmt wird;

(3) meßtechnisch bedingte Differenzen, die zu minimalen Ergebnisschwankungen beitragen können.

Insgesamt bleibt festzustellen, daß die intrapersonelle Streuung im Vergleich zur interpersonellen Streuung nur sehr geringfügig ist und sich in den Hf-'Bändern' (Abb.3-11) vergleichsweise wenig auswirkt (vgl. Einzelwerte im Anhang).

7.2 Beziehung zwischen Terraingang und Ergometrie

7.2.1 Größere Streubreite bei den Kurven der eLÄ

Für die vergleichsweise größere Streuung der Kurven der ergometrischen LÄ (Watt) in Abb. 19/20 im Gegensatz zu den Hf-Kurven (Abb. 17/18) können folgende Faktoren zur Diskussion gestellt werden:

(1) Grundsätzlich muß die Exaktheit der Darstellung der Mittelwertskurven (Hf) und der Regressionslinien in Abb. 13/14/15 in Frage gestellt werden, weil mögliche Ungenauigkeiten in diesem Bereich zu großen Fehleinschätzungen bei der Berechnung des LPI bzw. der ergometrischen LÄ (Watt) führen können. Allerdings ist aus den Abb. 14 und 15 ersichtlich, daß die Mittelwertskurven (Hf) so exakt wie möglich durch die beiden Einzelkurven der zwei Fahrradergometerversuche gelegt wurden. Da für Probandin Nr. 3 nur ein Versuch auf dem Ergometer durchführbar war, konnte die Mittelwertskurve (Hf) in Abb. 13 nur an einer Hf-Kurve orientiert werden.

Insgesamt dürfte die Darstellung der Regressionslinien und der Mittelwertskurven eine erträgliche Fehlerbreite aufweisen, die sich aber natürlich bei der Berechnung der ergometrischen LÄ und somit in Abb. 19/20 entsprechend niederschlagen kann.

(2) In Abb. 19/20 zeigen sich bei den Kurven der ergometrischen LÄ, daß bereits am Meßpunkt 1 (=Start) sehr verschiedene Leistungs-Äquivalente>0 dargestellt sind. Ursächlich dafür sind die individuellen Ausgangs-Hf der einzelnen Probanden, die bei der Berechnung der ergometrischen LÄ mittels der Regressionslinien (Abb. 13/14/15) zwangsläufig zu sehr unterschiedlichen ergometrischen LÄ-Werten>0 führen, auch wenn an Meßpunkt 1 noch keiner der Probanden eine Gehleistung (meßbar in Watt) erbringt.

Die unterschiedlichen Ruhepulslagen der drei Versuchspersonen können verschiedene Gründe aufweisen.

7.2.2 Veränderte Relation der Kurven der eLÄ

Für die veränderte Relation der einzelnen Kurven der ergometrischen LÄ (Abb. 19/20) gegenüber den Hf-Mittelwertskurven (Abb. 17/18, gemittelt aus zwei Begehungen) kann folgende Begründung angeführt werden:

Während Proband Nr. 6 in den Hf-Kurven häufig nur mittlere Pulswerte aufweist, zeigt er in den Kurven der ergometrischen LÄ meistens Höchstwerte (im Gegensatz zu Probandin Nr. 4, die zwar i.a. sehr hohe Pulsfrequenzen aber nur mittlere LÄ-Werte zu verzeichnen hat).

Da Versuchsperson Nr. 6 einerseits mit 94 kg der schwerste Proband war und andererseits bei der Berechnung der Leistung (Watt) (s. 7.2.2 a/b) das Gewicht eine erhebliche Einflußgröße darstellt, scheint die veränderte Relation der Kurven der ergometrischen LÄ in erster Linie auf das Körpergewicht des einzelnen zurückzuführen sein.

Welche Rolle das Körpergewicht beim Bergaufgehen für die vom Organismus zu erbringende Leistung spielt, sollen einige rechnerische Exempel am Beispiel Kapellenbichl zeigen. Es soll berechnet werden, welche Leistung die Probanden Nr.3/4/6

unter Berücksichtigung des individuellen Körpergewichts, der Geländebeschaffenheit (Höhe) und der benötigten Zeit (s. Anhang) bei der Begehung der Strecke tatsächlich zu erbringen hätten (Schritt-Takt 40 S/min, 84 S/min).

Die Formel für die Berechnung der physikalischen Leistung = Hebeleistung (Watt) lautet:

$$\frac{\text{Gewicht (kp)} \cdot \text{Höhe (m)}}{\text{Zeit (sec)}} = 9{,}81 \text{ Leistung (Watt)}$$

Gewicht der Versuchspersonen: Nr. 3 ..... 53 kg
Nr. 4 ..... 79 kg
Nr. 6 ..... 94 kg

Kapellenbichl

Meßpunkt-Nr.	Höhe (m)	Höhendifferenz (m)
1	0	7,86
2	7,86	5,79
3	13,65	5,35
4	19,00	

Zeit: s. Anhang (Kapellenbichl, Schritt-Takt 40 S/min, 84 S/min 1. Lauf)

a) Beispiele für die Berechnung der Hebeleistung bei Begehung der Strecke mit langsamen Schritt-Takt (40 S/min)

(1) Proband Nr. 3 (53 kg)

von Meßpkt. 1 bis 2: $\frac{7{,}86 \text{ m} \cdot 53 \text{ kg}}{60 \text{ sec}} \cdot 9{,}81 = 68{,}1 \text{ Watt}$

" " 2 bis 3: $\frac{5{,}79 \text{ m} \cdot 53 \text{ kg}}{55 \text{ sec}} \cdot 9{,}81 = 54{,}7 \text{ Watt}$

" " 3 bis 4: $\frac{5{,}35 \text{ m} \cdot 53 \text{ kg}}{45 \text{ sec}} \cdot 9{,}81 = 61{,}8 \text{ Watt}$

(2) Proband Nr. 4 (79 kg)

von Meßpkt. 1 bis 2: $\frac{7.86\ m \cdot 79\ kg}{70\ sec} \cdot 9{,}81 = 87{,}0$ Watt

" " 2 bis 3: $\frac{5.79\ m \cdot 79\ kg}{75\ sec} \cdot 9.81 = 59{,}8$ Watt

" " 3 bis 4: $\frac{5.35\ m \cdot 79\ kg}{55\ sec} \cdot 9{,}81 = 75{,}4$ Watt

(3) Proband Nr. 6 (94 kg)

von Meßpkt. 1 bis 2: $\frac{7.86\ m \cdot 94\ kg}{65\ sec} \cdot 9.81 = 111{,}5$ Watt

" " 2 bis 3: $\frac{5.79\ m \cdot 94\ kg}{55\ sec} \cdot 9.81 = 97{,}1$ Watt

" " 3 bis 4: $\frac{5.35\ m \cdot 94\ kg}{55\ sec} \cdot 9.81 = 89{,}7$ Watt

b) Beispiele für die Leistungsberechnung bei Begehung der Strecke mit schnellem Schritt-Takt (84 S/min)

(1) Proband Nr. 3 (53 kg)

von Meßpkt. 1 bis 2: $\frac{7.86\ m \cdot 53\ kg}{25\ sec} \cdot 9.81 = 163{,}5$ Watt

" " 2 bis 3: $\frac{5.79\ m \cdot 53\ kg}{30\ sec} \cdot 9.81 = 100{,}3$ Watt

" " 3 bis 4: $\frac{5.35\ m \cdot 53\ kg}{25\ sec} \cdot 9.81 = 111{,}3$ Watt

(2) Proband Nr. 4 (79 kg)

von Meßpkt. 1 bis 2: $\frac{7.86\ m \cdot 79\ kg}{30\ sec} \cdot 9.81 = 203{,}0$ Watt

" " 2 bis 3: $\frac{5.79\ m \cdot 79\ kg}{35\ sec} \cdot 9.81 = 128{,}2$ Watt

" " 3 bis 4: $\frac{5.35\ m \cdot 79\ kg}{30\ sec} \cdot 9.81 = 138{,}2$ Watt

(3) Proband Nr. 6 (94 kg)

von Meßpkt. 1 bis 2: $\frac{7.86\ m \cdot 94\ kg}{30\ sec} \cdot 9.81 = 241{,}6$ Watt

" " 2 bis 3: $\frac{5.79\ m \cdot 94\ kg}{25\ sec} \cdot 9.81 = 213{,}6$ Watt

" " 3 bis 4: $\frac{5.35\ m \cdot 94\ kg}{25\ sec} \cdot 9.81 = 197{,}3$ Watt

Die Ergebnisse der Leistungsberechnung zeigen erhebliche Unterschiede zwischen den einzelnen Probanden. Da der Faktor 'Höhe' jeweils konstant bleibt und auch der Faktor 'Zeit' nicht allzugroße Differenzen aufweist, ist für die unterschiedlichen berechneten Leistungen (Watt) primär der Faktor 'Gewicht' verantwortlich.

Abb. 21 soll verdeutlichen, daß die mittels der Formel zur Leistungsberechnung gewonnenen Ergebnisse dem Verhalten der Kurven der ergometrischen LÄ in Abb. 19/20 sehr ähnlich sind. In beiden Fällen zeigt Proband Nr. 6 (größtes Körpergewicht) die höchsten Werte auf.

Das relativ hohe Körpergewicht zwingt Herz und Kreislauf zu weit größeren Leistungsanstrengungen als das bei einem vergleichsweise geringen Gewicht der Fall ist (Proband Nr. 3 mit 53 kg zeigt die niedrigsten Werte, Proband Nr. 4 mit 79 kg zeigt mittlere Werte auf).

Das bedeutet also, daß der Faktor 'Gewicht' ganz erheblich zur veränderten Relation der Kurven der ergometrischen LÄ (Abb. 19/20) im Vergleich zu den Hf-Mittelwertskurven (Abb. 17/18) beigetragen hat.

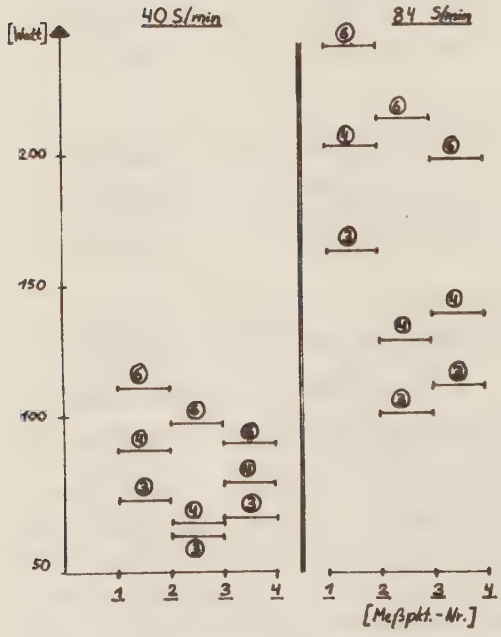


Abb. 21
Einfluß des Körpergewichts beim Bergaufgehen am Kapellenbichl.
Berechnung der Leistung (Watt) mittels der Formel
Leistung (Watt) = $\frac{kp \cdot m}{sec}$
Dargestellt ist die berechnete Leistung (Watt) der Testpersonen ③ ④ ⑥ bei der Begehung der Strecke zwischen den einzelnen Meßpunkten (1,2,3,4) bei langsamen (40 S/min) und schnellen (84 S/min) Schritt-Takt.
Proband Nr. 3 wiegt 53 kg, Nr. 4 79 kg und Nr. 6 94 kg.

7.2.3 Leistungsvergleich zwischen Ergometrie und Geländetest

Sowohl die errechneten und auf die Gehtests im Gelände projizierten Werte der ergometrischen LÄ (Watt) als auch die mittels der Formel zur Leistungsberechnung

$$\text{Leistung} = \frac{\text{Höhe (m)} \quad \text{Gewicht (kg}}{\text{Zeit (sec)}}$$

gewonnenen Ergebnisse (s.Kap.7.2.2) übersteigen z.T. erheblich die bei der Fahrradergometrie festgestellten Ausbelastungsgrenzen der drei Testpersonen.

Bei unseren Versuchen auf dem Fahrradergometer haben die Probanden folgende Belastungsstufen erreicht:

Testperson Nr. 3 ..... 75 Watt
Testperson Nr. 4 ..... 100 Watt
Testperson Nr. 6 ..... 125 Watt

Bei höherer Belastung äußerten sie den Wunsch, den Versuch - wegen körperlichen Unwohlseins - abbrechen zu dürfen.

Demgegenüber stehen die wesentlich höheren berechneten Werte aus den Beispielen in Kap. 7.2.2 und die Werte der ergometrischen LÄ (Abb. 19/20). Ferner bleibt festzustellen, daß die auf den Teststrecken vorgegebenen Anforderungen von den Probanden ohne entsprechende körperliche Beschwerden absolviert werden konnten, sodaß ein Versuchsabbruch nicht nötig war. Für diese Diskrepanz können folgende Gründe genannt werden:

(1) Hille (8) und Hofmann (9) verweisen auf die Tatsache, daß beim Gehen im Gelände meistens höhere Leistungen erbracht werden als auf dem Fahrradergometer. Dabei wird die höhere Leistung beim Gehen vom Patienten im allgemeinen als wesentlich leichter empfunden als die vergleichsweise geringere Leistung auf dem Fahrradergometer.

Ursächlich dürften vor allem die psychologisch entspannte Situation (9) beim Gehen in der freien Natur

und die bessere Schlagvolumenanpassung des Herzens beim Gehen (8) sein.

Ferner kann beim Gehen mit zunehmender Steigleistung die Mitbewegung anderer Muskelpartien und die Gangart so ökonomisiert werden, daß die Belastungserhöhung z.T. kompensiert werden kann.

(2) Ein nicht zu unterschätzender Faktor dürften auch der mangelnde Leistungswille und die vergleichsweise geringe Motivation des Einzelnen sein (8), beim Fahrradergometerversuch - im Gegensatz zum Geländetest - an die Grenzen der körperlichen Belastbarkeit zu gehen.

7.3 Algorithmen zur Leistungsbeschreibung

Hofmann und Leiner (9) haben zur Berechnung der Belastung verschiedene Algorithmen für das Aufwärts- und Abwärtsgehen und das Gehen in der Ebene entwickelt. Die Belastung gilt dabei als eine Funktion von Geschwindigkeit und Steigung.

Diese Formeln sollen bei allen Wanderwegen Anwendung finden, sie sind nicht auf eine spezielle Teststrecke fixiert.

Nach einem ergometrischen Belastungstest, der dem Arzt zur richtigen Dosierung verhelfen soll, kann der Patient - nach Meinung der Autoren - auf praktisch jeden Wanderweg losgeschickt werden. Entsprechend seiner Belastbarkeit wird dem Patienten dabei ein bestimmtes Zeitlimit vorgegeben, wodurch das körperliche Training dosiert wird.

Zur praktischen Überprüfung dieser Algorithmen, soll die lineare Formel für die Leistungsberechnung beim Aufwärtsgehen exemplarisch an zwei von unseren Kurübungswegen (Seebichl, Kapellenbichl) und zwei Probanden (Nr. 3, Nr.10), mit unterschiedlichen, ergometrisch definierten Leistungsgrenzen, angewandt werden.

Die von Hofmann und Leiner erarbeitete lineare Formel (sie basiert auf einer für das Laufbandergometer entwickelten Formel von Schönenberger) für die Berechnung der Leistung beim Bergaufgehen lautet (9):

$$\text{LEISTUNG (Watt)} = 187.04\ (v \cdot \sin\alpha) + 10.66$$

v = Geschwindigkeit (km/Std) = Länge der Strecke/Zeit
$= \frac{s}{t}$ (km/Std)

t = Zeit (Std)

s = Länge der Strecke (m)

α = der Steigungswinkel der Strecke in Grad

Entsprechend dem Anwendungsbeispiel von Hofmann und Leiner (9), soll berechnet werden, in welcher Zeit die beiden Probanden die zwei Kurübungswege zurücklegen müssen, um dabei eine bestimmte - ihrem Leistungsniveau gemäße - Belastungsstufe zu erreichen.

Beispiel 1: Seebichl, Proband Nr. 3

Leistung (Nr. 3) = 75 Watt
(Ergometrie)
s (Streckenlänge) = 539.5 m
= 0.5395 km
α (mittlere Steigung) = 5.4°
$\sin\alpha$ = 0.094

Gesucht: Zeit t, in der Versuchsperson Nr. 3 bei einer konstanten Belastung von 75 Watt den Kurübungsweg Seebichl zurücklegen muß.

$$75 = 187.04\ \left(\frac{0.5395}{t}\quad 0.094\right) + 10.66$$

$$t = 0.148\ \text{(Std)} = 8\ \text{min}\ 53\ \text{sec}$$

Diese errechnete Zeit entspricht ungefähr der, von diesem Probanden bei Schritt-Takt 84 S/min benötigten Zeit (1.Lauf: 9:20 min, 2.Lauf: 8:55 min).

Beispiel 2: Seebichl, Proband Nr. 10

Leistung (Nr. 10) = 150 Watt
(Ergometrie)
s = 0.5395 km
α = 5,4°

$$150 = 187.04 \left(\frac{0.5395}{t} \; 0.094\right) + 10.66$$
$$t = 0.068 \text{ (Std)} = \underline{4 \text{ min } 5 \text{ sec}}$$

Dieses Zeitlimit stimmt in keiner Weise mit den Ergebnissen unserer Versuchsreihe überein. Bei einem Schritt-Takt von 100 S/min - also der schnellsten Gangart, die unsere Probanden meistens ihre Leistungsgrenzen ahnen ließ - benötigte Proband Nr. 10 6:35 min (1. Lauf) bzw. 7 min (2. Lauf).

Beispiel 3: Kapellenbichl, Proband Nr. 3

Leistung (Nr. 3) = 75 Watt
s = 59.15 m
= 0.05915 km
α = 18.75° (mittlere Steigung)
$\sin\alpha$ = 0.321

$$75 = 187.04 \left(\frac{0.05915}{t} \; 0.321\right) + 10.66$$
$$t = 0.055 \text{ (Std)} = \underline{3 \text{ min } 18 \text{ sec}}$$

Beim Vergleich mit unseren Ergebnissen zeigt sich, daß Proband Nr. 3 sogar im langsamsten Schritt-Takt (40 S/min) nur 2:45 min benötigte, bei 84 S/min die Strecke in nur 1:15 min bewältigt werden konnte.

Beispiel 4: Kapellenbichl, Proband Nr. 10

Leistung (Nr. 10) = 150 Watt
s = 0.05915 km
α = 18.75°

$$150 = 187.04 \left(\frac{0.05915}{t} \; 0.321\right) + 10.66$$
$$t = 0.025 \text{ (Std)} = \underline{1 \text{ min } 30 \text{ sec}}$$

Bei unseren Versuchen entspricht dieses berechnete Zeitlimit der bei 68 S/min von Proband Nr. 10 benötigten Zeit. Die Strecke konnte von ihm aber auch in 1:05 min (84 S/min) zurückgelegt werden.

Diese vier Beispiele, die sich allerdings nur auf eine der von Hofmann und Leiner propagierten Formeln beziehen, zeigen, daß die generelle Anwendung dieser Algorithmen nicht sinnvoll erscheint.

Vergleicht man das errechnete Zeitlimit mit den von unseren Probanden tatsächlich benötigten Laufzeiten, so ergeben sich z.T. erhebliche Abweichungen (s. Beisp. 2 und 3). Bei Beispiel 1 und 4 liegt das errechnete Zeitlimit zwar innerhalb des von unseren Probanden erstellten Rahmens, ein höheres oder niedriges Gehtempo (gleichbedeutend mit einer größeren oder kleineren Belastung) blieben damit aber unberücksichtigt.

Für eine objektive Beurteilung dieser Algorithmen und der propagierten allgemeinen Anwendbarkeit sind diese Beispiele - bezogen auf unsere Kurübungswege - sicherlich nicht ausreichend.

Es sollen daher einige Überlegungen zu diesem Thema zur Diskussion gestellt werden:

1 Die formelmäßige Beschreibung der Leistung während des Aufwärts-, Abwärtsgehens und des Gehens in der Ebene dürfte sich nur bei längeren Wanderwegen (s. Beispiel (9): 5,8 km, Aufstiegszeit 2,9 Std) bewähren.
Bei "Kurzstrecken", die in wenigen Minuten zu absolvieren sind, können sich zu große Fehlerbreiten ergeben, die einer adäquaten, differenzierten Belastung des Einzelnen nicht mehr gerecht werden könnten.

2 Zur formelmäßigen Beschreibung der Leistung ist die "mittlere" Steigung des Weges anzugeben, deren Berechnung allerdings aufgrund der z.T. stark wechselnden Geländesteigung im Gebirge sich als äußerst problematisch und fehlerträchtig erweisen kann.

3 Schließlich wird bei diesen mathematischen Formeln eine konstante Dauerleistung (Belastung) miteinkalkuliert (z.B. aufgrund der Ergometrie belastbar bis 75 Watt), deren ständige Einhaltung im Gelände oft sehr schwierig sein dürfte.

Dabei ist aber auf relativ langen Wanderwegen (mit einigen Pausen) eher eine ausgeglichene Leistung zu erwarten, als auf sehr kurzen Strecken, die - einem Sprint ähnlich - in kurzer Zeit u. U. Höchstleistungen abverlangen.

4 In der angegebenen Formel findet ein sehr wesentlicher Faktor zur Leistungsberechnung beim Bergaufgehen - das individuelle Körpergewicht - keine Beachtung. Da aber ein hohes bzw. niedriges Körpergewicht eine sehr entscheidende Einflußgröße bei der vom Organismus zu vollbringenden Leistung beim Aufwärtsgehen darstellt, engt die fehlende Berücksichtigung des Gewichts den praktischen Wert dieser Formel erheblich ein (vgl. 7.2.2).

Die formelmäßige Beschreibung der Leistung nach Hofmann und Leiner ist für die praktische Durchführung-nur mit Einschränkungen - geeignet.

7.4 Der Leistungstest

Trotz der vielen diagnostischen Möglichkeiten im Rahmen einer Leistungsprüfung kann es passieren, daß ein mit aller ärztlicher Sorgfalt untersuchter Patient bereits am nächsten Tag einen völlig anderen Gesundheitszustand bietet, dessen Vorstadien von sämtlichen Funktionsmethoden nicht erfaßt werden konnten.

Um so wichtiger erscheint es, neben den Resultaten der Funktionsdiagnostik, auch die aktuelle Risikosituation des Patienten miteinzubeziehen, damit gegebenenfalls gezielte, kausale Maßnahmen ergriffen werden können.

Mellerowicz et al. (16) haben einen umfassenden kardiologischen Untersuchungsbogen zur Prävention und Rehabilitation entwickelt, der speziell die individuellen Risikofaktoren erfaßt und auf eine systematische Analyse aller pathogenetischen Faktoren abzielt.

Mellerowicz gibt folgende Faktoren als Risiko für degenerative Herzkreislauferkrankungen bzw. für einen vorzeitigen Herzkreislauftod an (16):

(1) Überernährung, daraus resultierend Übergewicht und erhöhte Blutfettwerte

(2) Mangel an körperlicher Leistung

(3) nervöse Überbeanspruchung oder Stress

(4) Nikotinabusus

(5) Hypertonie

(6) Diabetes mellitus

(7) Adipositas endogener oder exogener Art

(8) hereditäre Risikofaktoren

Ein derartiger, die Risikofaktoren degenerativer Herzkreislauferkrankungen darstellender Fragebogen ist natürlich in erster Linie im Rahmen der Prävention von Bedeutung. Mellerowicz et al. äußern die Überzeugung, daß gerade bei einem Personenkreis mit latenter pathogenetischer Situation und einem Mindestmaß an Gesundheitswillen durch eine solche präventivkardiologische Untersuchung und Beratung erheblich zur Verminderung der Risikofaktoren beigetragen werden kann.

Es stellt sich allerdings die Frage, ob die anhand des Fragebogens erarbeitete Risikosituation auch der Wirklichkeit entspricht.

Leider sind die subjektiven Angaben der Patienten nicht immer so zuverlässig, daß man sich daraus ein genaues Bild über den tatsächlichen Funktions- und Gesundheitszustand des cardiovaskulären Systems machen könnte.

Es ist deshalb unerläßlich, eine genaue klinische Untersuchung durchzuführen, die neben Auskultation, Blutdruck- und Körpergewichtsbestimmung nach Roskamm (20), auch die Messung der Hautfaltendicke durch zirkelähnliche Instrumente beinhalten sollte. Damit kann, laut Autor, indirekt der Fettanteil am Gesamtkörpergewicht festgestellt werden und genau zwischen Übergewicht und Adipositas differenziert werden.

Allerdings ist es fraglich, ob nicht auch ohne Messung der Hautfaltendicke beurteilbar ist, inwieweit jemand fettsüchtig, oder aber nur muskulös ist.

Als weiteren Bestandteil der Leistungsprüfung stellt Roskamm (20) die röntgenologische Bestimmung des Herzvolumens zur Diskussion.

Hüllemann (12) definiert "...das röntgenologisch bestimmte Herzvolumen... (als) das Produkt aus der Fläche des Herzschattens und der mittleren linearen Ausdehnung in der Richtung des Strahlenganges."

Es wird mittels einer Sagittal- und einer Transversalaufnahme nach einer Formel von Rohrer und Kahlstorf, modifiziert von Musshoff und Reindell (18) bestimmt.

Man kann mit der Herzvolumenbestimmung zwar feststellen, ob ein Herz in Relation zum Körpergewicht zu groß oder zu klein ist, nicht aber, in welchem Funktionszustand dieses Herz sich befindet. Roskamm betont auch, wie wichtig deshalb zusätzliche Informationen über die cardiale Leistungsfähigkeit sind (20).

Eine andere Methode zur Belastungsprüfung von Herz und Kreislauf stellt die Spiroergometrie dar, deren stärkster Verfechter W. Hollmann sein dürfte.

Sie bietet zweifellos den Vorteil, daß während einer genau definierten Arbeitsleistung, neben den üblichen Kreislaufparametern (Puls, RR etc.) auch Atmung und Stoffwechsel kontrolliert werden können (10). Die beiden wichtigsten Kriterien bei der Beurteilung des physischen Leistungsvermögens sind das Atemäquivalent (Atemminutenvolumen (ml)/O_2-Aufnahme [min]) und die maximale O_2-Aufnahme oder Vita maxima (10) (12).

Da beide Methoden eine aufwendige und komplizierte technische Ausstattung voraussetzen, eignen sie sich aber i.a. nicht für einen Kurort.

Als praktikabel scheinen nur noch Untersuchungsmethoden, die mit geringem personellen und apparativen Aufwand durchführbar und vor allem kostensparend sind.

Damit aber trotz aller Wirtschaftlichkeit der medizinische Aspekt nicht zu kurz kommt, gilt es eine vernünftige Synthese zu finden.

In diesem Zusammenhang erscheint der Vorschlag Donats (10) besonders sinnvoll, der verschiedene Stufen von "Prüfständen" fordert. Jeder Patient soll nach einer exakten Anamnese und klinischen Untersuchung auf dem Ergometer getestet werden,

wobei verschiedene Parameter gemessen werden und dem Belastungs-EKG eine zentrale Bedeutung zukommt. Lediglich bei problematischen Fällen sollen evtl. zusätzlich spiroergometrische Daten herangezogen werden.

Etwas außer der Reihe im Rahmen dieser Diskussion steht Wefelscheid, der über Erfahrungen mit seinem sogenannten "Terrainleistungstest" berichtet (23) (24). Er berechnet die Belastbarkeit des Patienten als Leistung in Watt, aus den Faktoren Körpergewicht, Zeit, Höhenmetern der Strecke und einem Korrekturfaktor.

Problematisch an dieser Art der Leistungsprüfung scheint vor allem, daß Wefelscheid sie auch bei Patienten mit schwerwiegenden cardiovaskulären Erkrankungen anwendet. Er berichtet von Fällen, die den "Terrainleistungstest" zwar erfolgreich bestanden haben, die aber bei vielen anderen Medizinern als klare Kontraindikationen für ein derartiges Verfahren gelten würden.

Generell aber, scheint sich der"einfache" Leistungstest in Form von Anamnese, klinischer Untersuchung und standardisierter Fahrradergometrie (19) durchzusetzen. Bei der Ergometrie wird neben Herzfrequenz und Blutdruck dem Belastungs-EKG besondere Bedeutung beigemessen. Einem erfahrenen Arzt dürfte es damit in der Mehrzahl der Fälle gelingen, unter Beachtung sämtlicher anderen Parameter, die Belastbarkeit des Patienten richtig einzuschätzen.

7.5 Das "Walk"-through-Phänomen" - Eine Indikation oder eine relative Kontraindikation der Bewegungstherapie bei Koronarkranken ?

Einige Patienten haben die Fähigkeit, durch eine Arbeitsstenokardie 'hindurchzugehen'. Sie können diesen 'toten Punkt' überwinden, ohne ihre Gehgeschwindigkeit zu reduzieren oder zu pausieren. Im EKG zeigt sich während dieser Schmerzattacke eine transitorische, maximale Innenschichtischämie.

Halhuber (7), Milz (14) u.a. empfehlen im allgemeinen ihren Patienten, sich nur bis zum Auftreten von stenokardischen Beschwerden zu belasten. Bei denjenigen Patienten dagegen, die spontan schon in der Anamneseerhebung von der Überwindung eines toten Punktes durch einen 'zweiten Wind' berichten, empfehlen sie meistens nur eine Verlangsamung der körperlichen Aktivität.

Es bleibt jedoch die Frage offen, welchen Patienten guten Gewissens ein Durchgehen durch die Arbeitsstenokardie geraten werden kann und welchen man davon abraten sollte.

7.6 Vergleich Ergometrie - Terrainkur

Die Ergometrie als Belastungsform im rehabilitiven Training bietet zweifellos viele Vorteile.

Die Belastungsstufe und die zu erbringende Leistung ist exakt dosierbar und kann der individuellen Leistungsfähigkeit angepaßt werden (10).

Bei der Terrainkur dagegen ist auch bei vorgegebenen Schritt-Takt oder einem Zeitlimit die Dosierung nicht ganz einheitlich. Denn unterschiedliche Schrittlänge, Gewicht und Koordination der Bewegungen führen zu Wirkungsgradunterschieden mit manifesten Auswirkungen auf das cardiopulmonale System.

Ferner ist bei der Ergometrie die Leistung jederzeit exakt reproduzierbar (10).

Die ergometrische Belastung kann relativ gefahrlos absolviert werden, wenn bei einem gleichzeitig mitaufgezeichneten EKG pathologische Veränderungen frühzeitig zum Abbruch mahnen.

Aber auch bei einem Patienten, der seine Übungen im Gelände absolviert, ist dies heute keine prinzipielle Schwierigkeit mehr. Mittels Telemetrie, Radioelektrokardiographie etc. (20) kann das Risiko einer Terrainkur auf ein Minimum reduziert werden.

Die Gefahren einer dosierten Trainingsbehandlung bei Koronarpatienten, wie akuter Herztod, Infarktauslösung und beschleunigte Herzinsuffizienz (20) können bei adäquater Dosierung und sorgfältiger Überwachung während der Belastung (z.B. Telemetrie) als relativ gering betrachtet werden. In diesem Sinne äußert sich auch Halhuber (7).

Neuere Untersuchungen (8) deuten an, daß die Druckbelastung des Herzens bei der Terrainkur erheblich geringer ist, als bei gleicher Belastung auf dem Fahrradergometer.

Die Gründe dürften sowohl die entspannte Haltung des Oberkörpers beim Bergwandern, als auch die Erlebnissituation in der freien Natur sein (9).

Niemand kann abstreiten, daß das Training auf dem Fahrradergometer auf Dauer äußerst erlebnisarm ist und dadurch von den Patienten oft nur mit wenig Freude und Elan praktiziert wird.

Außerdem ist ergometrisches Training am Wohnort häufig nicht möglich, d.h. der Patient muß nach einer Kur - sofern er fit bleiben will - sich sowieso eine andere geeignete Trainingsmöglichkeit suchen. Als einfachste Methode bietet sich hier das Wandern, auch in der Ebene an.

Ob körperliches Training mittels Ergometrie oder Terrainkur durchzuführen ist, soll keinesfalls dogmatisch betrachtet werden. Die absolute, optimale Übungsbehandlung gibt es nicht, vielmehr muß aufgrund der örtlichen Gegebenheiten und der Voraussetzungen seitens des Patienten die bestmögliche Synthese ganz individuell gefunden werden.

8. KRITIK DER METHODE

8.1 Probanden

Leider war es uns nicht möglich, die kleine Anzahl von Probanden im Lauf der Zeit zu vergrößern. Auch der örtliche Kurarzt konnte uns bei diesem Problem nicht behilflich sein.

Das Ausmaß der Untersuchungsreihe ist dadurch zu klein geraten, um die Ergebnisse verallgemeinern zu können. Inwiefern die Ergebnisse in diesem speziellen Terrain und mit den vorgegebenen Schritt-Takten auch auf andere Personen und Wege übertragbar sind, müssen noch weitere Untersuchungen dieser Art zeigen.

Trotzdem ist das Phänomen der Streubreiten auch in diesem kleinen Rahmen gut erkenn- und darstellbar.

8.2 Messung der Herzfrequenz als Parameter der Kreislaufbelastung

Streng genommen eignet sich die Hf nur bei gesunden Menschen unter 50 Jahren als zuverlässiger Leistungsparameter, denn die maximale Pulsfrequenz unterliegt mit zunehmendem Alter einem "Bremseffekt", der auf den altersbedingten Elastizitätsverlust des cardiovaskulären Systems zurückzuführen ist.

In unserer Versuchsreihe beschränkten wir uns zur Abschätzung der Kreislaufbelastung auf die Pulsfrequenz als einzigen Parameter. Dies war bei unserem kleinen, grob klinisch relativ gesunden Probandenstamm möglich, wäre allerdings bei Kurpatienten mit cardiovaskulärer Insuffizienz nicht ausreichend. In diesem Fall wäre eine zusätzliche Kontrolle z.B. mittels RR-Messung und eine Belastungs-EKG Aufzeichnung empfehlenswert.

Die primären Probleme dieser Untersuchung - die Dosierbarkeit der Kreislaufbelastung und die Streuung der Hf beim Gehen im Gelände - konnten allerdings auch mit der Hf als alleiniger Meßgröße dargestellt werden.

8.3 Meßmethoden

Die technische Ausstattung (s.Abb. 2) war für die Tests völlig ausreichend, wurde von den Versuchspersonen im allgemeinen sehr rasch akzeptiert und brachte verläßliche Ergebnisse.

8.3.1 Gehtests auf den Kurübungswegen

Manchen Probanden fiel es anfangs etwas schwer, den vom Impulsgeber vorgegebenen Schritt-Takt exakt einzuhalten, was aber rasch vom Untersucher korrigiert werden konnte. Möglicherweise führte der Zwang zur Einhaltung des Schritt-Takts bei dem einen oder anderen Probanden zu einer unökonomischen Gehweise, sodaß vielleicht auch Versuche mit frei gewähltem Schritt-Takt im Sinne Basseys (1) empfehlenswert wären. Andererseits konnte beobachtet werden, daß häufig beim zweiten Versuch - nachdem die Probanden also mit der Methode bereits vertraut waren - sowohl der Ruhepuls niedriger war (s.Kap.7.1.2) als auch die Einhaltung des Schritt-Takts keine besonderen Schwierigkeiten mehr bereitete.

8.3.2 Fahrradergometrie

Die Ergometrie brachte keine technischen Schwierigkeiten mit sich. Auf eine Ausbelastung der Patienten wurde verzichtet, um jegliches Risiko zu vermeiden.

9. SCHLUßFOLGERUNGEN

Aufgrund der Ergebnisse und Erfahrungen der vorliegenden Arbeit können folgende Gedanken zur weiteren Diskussion der Thematik angeführt werden:

- Die aufgrund der Fahrradergometrie im Rahmen einer Vortestung ermittelte Belastbarkeit des Kurpatienten erfaßt nicht in allen Fällen die tatsächliche Leistungsbreite des Patienten. Wie aus unseren Versuchen ersichtlich (s. 7.2.3 Probanden Nr. 3/4/6) und auch von Hille (8) und Hofmann (9) festgestellt wurde, werden beim Gehen im Gelände häufig höhere Leistungen erbracht, als auf dem Fahrradergometer, wobei die höhere Leistung beim Gehen vom Patienten i.a. leichter empfunden wird als die vergleichsweise geringere Leistung auf dem Fahrradergometer (vgl. 7.2.3).
- Es erscheint deshalb sinnvoll, neben der üblichen ergometrischen Vortestung - deren Wert hier keinesfalls bestritten werden soll - mit dem Kurpatienten auch verschiedene Probeläufe im Terrain (unterschiedliche Schritt-Takte, Wege mit unterschiedlichen Belastungsstufen) durchzuführen, um die individuelle cardiovaskuläre Leistungsbreite noch genauer einschätzen zu können. Voraussetzung dafür sind einige Kurübungswege unterschiedlicher Belastungsstufe, für die - entsprechend den Versuchen in Bayersoien - verschiedene Hf-Bänder ermittelt werden (z.B. mit drei verschiedenen Schritt-Takten).
  Für jeden geeigneten Kurpatienten könnte nach einem oder mehreren Probeläufen anhand seiner erreichten Pulswerte und der benötigten Laufzeit mittels des entsprechenden Hf-Bandes die individuelle körperliche Leistungsfähigkeit ermittelt werden. Der Probelauf, der Aufschluß über die Stellung innerhalb des vorgegebenen Hf-Bandes geben soll (eingeschränkte - mittlere - überdurchschnittliche Leistungsbreite), kann dem Arzt die richtige Dosierung des körperlichen Trainings wesentlich erleichtern.

- Noch wesentlich mehr Exaktheit bei der Dosierung des körperlichen Trainings könnte bei entsprechender Berücksichtigung des individuellen Körpergewichts erzielt werden. Beispielsweise könnte in anderen Arbeiten der Versuch unternommen werden, unter Berücksichtigung des Körpergewichts eine möglichst exakte formelmäßige Beschreibung der zu verrichtenden Leistung bei der Begehung eines vorgegebenen Kurübungsweges zu finden.

10. ZUSAMMENFASSUNG

1. Der vorliegenden Untersuchung liegen folgende Fragestellungen zugrunde:
   Welche Möglichkeiten der standardisierten Kreislaufbelastung im Kurort gibt es?
   Wo liegen die Grenzen der standardisierten Kreislaufbelastung, insbesondere auf Kurübungswegen?
   Welche Beziehung besteht zwischen den Herzfrequenzen aus der Fahrradergometrie und denjenigen bei den Geländetests im Terrain?
   Welche Ursachen liegen der Streuung der Herzfrequenzen bei den Terraintests zugrunde?

2. Unter den Möglichkeiten der standardisierten Kreislaufbelastung werden vorrangig die Ergometrie und die Terrainkur als zwei sehr unterschiedliche Methoden der Kreislaufbelastung dargestellt. Während für die letztere die relativ geringe Druckbelastung des Herzens beim Gehen spricht, bietet das ergometrische Training den Vorteil der exakten Dosier- und Reproduzierbarkeit.

   Die Grenzen der standardisierten Kreislaufbelastung liegen bei den Kontraindikationen für eine aktive Bewegungstherapie.

3. An den Versuchen in Bayersoien nahmen zehn Testpersonen im Alter von 36 bis 67 Jahren teil. In den Geländetests hatten die Probanden drei Kurübungswege unterschiedlicher Länge und Steigung zu bewältigen, wobei jede Teststrecke in drei verschiedenen Schritt-Takten je zweimal absolviert werden mußte.

Schleifmühlweg:	68/84/100	Schritte/min
Seebichl	: 68/84/100	Schritte/min
Kapellenbichl	: 40/68/ 84	Schritte/min

   Ferner nahmen die Probanden an jeweils zwei Versuchen auf dem Fahrradergometer teil, wo bei einer Grundbelastung von 50 Watt die Belastung in dreiminütigen Abständen um jeweils 25 Watt stufenweise angehoben wurde.

4. Als Meßparameter dienten bei den Geländetests:
die Herzfrequenz (Hf), die am Startpunkt und an allen anderen Meßpunkten ohne Unterbrechung des Laufs ermittelt wurde;
die Gesamtlaufzeit (min:sec) vom Startpunkt bis zum Ziel;
die Zwischenlaufzeiten an den einzelnen Meßpunkten (ohne Unterbrechung des Laufs).
Bei den Versuchen auf dem Fahrradergometer wurde die Hf zu Beginn des Versuchs und in der dritten Minute jeder Belastungsstufe registriert.

5. Als Ergebnis der Untersuchungen im Gelände konnten die unterschiedlichen Hf-Werte, die alle Probanden bei den je zwei Begehungen der drei Kurübungswege (in drei verschiedenen Schritt-Takten) erreichten,in einzelnen Graphiken als sogenannte Hf-Bänder dargestellt werden. Für jeden der Kurübungswege und jeden dabei gewählten Schritt-Takt zeigt das entsprechende Hf-Band sowohl die interpersonelle Streuung der Pulsfrequenzen als auch eine - aus der Gesamtheit des Probandenkollektivs - ermittelte Hf-Mittelwertskurve.
Die bei den zwei Versuchen auf dem Fahrradergometer ermittelten Herzfrequenzen aller Probanden wurden graphisch in Abhängigkeit von der jeweiligen Belastungsstufe dargestellt.

6. Um eine Beziehung zwischen den Hf aus der Fahrradergometrie und denjenigen bei den Gehtests im Terrain herzustellen, wurden - am Beispiel von drei Versuchspersonen - Interpolationskurven erstellt. Ausgehend von den bei der Ergometrie gemessenen Hf, konnte mittels Regressionslinien in den einzelnen Diagrammen für jeden Probanden aus der jeweiligen Hf die entsprechende ergometrische Leistungsäquivalenz (Watt) (=LÄ) dargestellt werden. Ferner konnte anhand der verschiedenen Diagramme der Leistungs-Pulsindex nach E.A. Müller bestimmt werden. Beim Vergleich von Kurven der ergometrischen LÄ mit Hf-Mittelwertskurven (am Beispiel dreier Probanden auf zwei Kurübungswegen) fiel neben einer vergleichsweise größe-

ren Streuung auch eine veränderte Relation der Einzelkurven der ergometrischen LÄ auf.

7. In der Diskussion konnten folgende Punkte verdeutlicht werden:

   - Die zwischen Terraintest und Ergometrie untersuchte Beziehung ergab die besondere Bedeutung des Körpergewichts bei der Leistungsberechnung für das Gehen im Gelände (Aufwärtsgehen). Dies konnte anhand einiger rechnerischer Beispiele mit der Formel für die Berechnung der physikalischen (Hebe-)Leistung (Watt) veranschaulicht werden.

   - Unterschiedlich hohe Herz-/Kreislaufbelastungen beim Gehen im Gelände und bei der Ergometrie sind u.a. wegen der besseren Schlagvolumenanpassung des Herzens beim Gehen anzunehmen.

   - Die bei den einzelnen Hf-Bändern dargestellten Streubreiten, sind auf individuelle körperliche Konstitution (Größe, Gewicht, allgemeiner Gesundheitszustand), Alter, Geschlecht und äußere Einflüsse (Wetter) zurückzuführen.

LITERATURVERZEICHNIS

1 Bassey, E.J., Macdonald, J.E, Patrick, J.M. — Factors Affecting the Heart Rate During Self-paced Walking Applied Physiology, Vol. 48 Nr. 1, 1982, 105 ff

2 Beckmann, P. — Bewegungstherapie in modernen Kuren Aesopus - Aufklärungsreihe 1973

3 Buchwalski, R. — Ist jeder Herzinfarktpatient trainierbar? Herz - Kreislauf 11, 1977, 622 ff

4 Christmann, Th. — Ergometrisch definierte Herz - Kreislaufbelastung von Kurpatienten beim Bergaufgehen Inauguraldissertation München 1974

5 Cooper, K. — Bewegungstraining Fischer Taschenbuch Verlag, Frankfurt 1970

6 Häntzschel, K., Pohl, K. — Trainingseinflüsse auf die Leistungsfähigkeit des geschädigten Herzens Zeitschr. f. Physiotherapie 31, 399 ff, 1979

7 Halhuber, M., Milz, H. (Hrsg.) — Praktische Präventiv - Kardiologie Urban u. Schwarzenberg München, Berlin 1972

8 Hille, H., Kienle, D., Kienle, H.
Leistung, Puls- u. Stoffwechsel von Kurpatienten beim Gehen und beim Ergometertraining. Med. Welt 32, Heft 28, 1119 ff, 1981

9 Hofmann, W., Leiner, G.
Kardiale Rehabilitation im Terrain unveröffentlichtes Manuskript

10 Hollmann, W.
Beurteilung der Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit von Kurpatienten Zeitschr. Physikalische Medizin 1, 1970, 74 ff

11 Hollmann, W. (Hrsg.)
Zentrale Themen der Sportmedizin Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg 1977

12 Hüllemann, K.-D. (Hrsg.)
Leistungsmedizin - Sportmedizin Thieme Verlag, Stuttgart 1976

13 Israel, S., Scharschmidt, F.
Trainingseinflüsse auf die Sauerstoffversorgung des gesunden Herzens Zeitschr. f. Physiotherapie 31, 393 ff, 1979

14 Kirchhoff, H.W., Beckmann, P. (Hrsg.)
Kardiologische Rekondition Banaschewski München 1972

15 Mellerowicz, H.
Ergometrie Urban und Schwarzenberg München 1979

16 Mellerowicz, H. et al. (Hersg.)
Rehabilitive Kardiologie Karger, Basel-München 1974

17 Meyer-Busche, G. — Ergometrische Verlaufsbeobachtungen an Kurpatienten mit funktionellen, hyper- u. hypotonen Kreislaufregulationsstörungen in Bad Wiessee
Inauguraldissertation München 1975

18 Reindell, H., König, K., Roskamm, H. — Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken Herzens
Thieme Verlag, Stuttgart 1967

19 Reinhold, D. — Leistungsprüfung in der rehabilitiven Kardiologie
Medizin u. Sport 19, 181 ff, 1979

20 Roskamm, H., Reindell, H., König, K. — Körperliche Aktivität und Herz- und Kreislauferkrankungen
J.A. Barth, München 1966

21 Schettler, G., Schlierf, G. — Bewegungsmangel- ein koronarer Risikofaktor ?
Dt. Ärzteblatt 28, 1643 ff, 1978

22 Schnizer, W., Kleinschmidt, J., Drexel, H. — Zum Bewegungstraining im Kurort
Heilbad und Kurort 30, Heft 4, 106 ff, 19

23 Wefelscheid, H. — Zur Ausdauerbelastung bei degenerativen Herz- und Gefäßerkrankungen
Münchner Med.Wochenschr. 118,1976

24 Wefelscheid, H. — Dosierbare Terrainkur als Langzeitprogramm
Zeitschr. f. Bäder- u. Klimaheilkunde 27, 70 ff, 1980

ANHANG

Messdaten

Terraintest: Schleifmühlweg, 68 Schritte/min, Lauf 1+2, Pulswerte

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Meßpkt.-Nr.								
1	85	85	50	80	80	90	85	85
	80	80	60	80	75	75	85	85
2	105	95	80	95	95	90	95	100
	95	85	80	105	85	85	110	95
3	115	100	90	105	110	95	105	105
	95	85	80	115	95	85	110	100
4	120	110	100	105	110	105	110	100
	105	100	85	115	105	90	110	100
5	105	110	70	85	100	105	115	90
	85	105	65	120	80	90	110	90
6	110	100	90	90	90	110	110	90
	90	100	75	120	85	80	115	95
7	100	90	70	95	90	85	100	90
	90	85	65	95	85	85	95	90
8	95	95	60	85	85	80	90	85
	80	85	60	80	85	80	85	90
9	95	120	60	80	80	80	90	110
	80	115	70	90	90	80	85	90
10	130	140	90	115	110	100	95	125
	110	140	90	125	110	100	90	115
11	120	90	85	115	100	100	115	105
	105	95	80	110	105	100	120	110
12	100	85	70	100	80	100	110	85
	90	85	65	115	85	100	110	95
13	120	90	80	90	100	105	100	85
	85	85	60	110	85	90	105	90
14	110	85	90	90	90	100	100	90
	80	85	65	110	110	95	110	85
15	110	85	80	90	85	110	95	85
	80	85	60	100	105	90	110	90
16	105	80	70	90	90	120	90	80
	75	80	60	100	80	90	100	90
17	100	80	60	90	80	100	90	90
	85	85	65	110	90	105	95	90

Terraintest: Schleifmühlweg, 84 Schritte/min, Lauf 1+2, Pulswerte

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Meßpkt.-Nr.								
1	85	90	55	75	80	80	80	90
	85	85	65	65	85	80	85	80
2	110	110	100	110	100	95	105	100
	105	110	80	130	105	100	110	95
3	115	115	105	120	100	95	110	100
	115	105	95	105	115	105	110	105
4	120	115	100	125	140	105	120	105
	125	105	105	115	115	135	120	115
5	105	105	110	160	80	110	90	95
	110	110	85	110	110	110	105	95
6	115	105	80	160	95	95	85	95
	110	110	85	95	140	115	115	95
7	110	95	80	105	90	90	95	100
	110	90	85	95	110	95	100	100
8	100	85	60	80	60	80	85	90
	95	85	70	95	95	90	90	100
9	100	90	60	100	80	85	85	90
	100	90	70	95	105	90	90	95
10	130	120	100	140	100	110	120	120
	130	130	110	120	100	120	120	120
11	130	130	95	120	120	110	115	115
	130	110	115	125	120	120	115	120
12	110	110	80	100	70	90	105	100
	105	110	80	100	115	115	115	95
13	105	105	60	100	80	100	95	90
	105	105	75	100	105	105	105	90
14	105	100	90	120	110	80	115	95
	105	100	80	95	115	95	90	95
15	100	90	75	110	85	80	95	90
	100	110	75	105	80	95	105	90
16	100	95	90	120	110	100	105	95
	100	110	75	105	95	100	90	95
17	100	95	70	100	110	85	95	100
	100	95	75	95	105	95	85	95

Terraintest: Schleifmühlweg, 100 Schritte/min, Lauf 1+2, Pulswerte

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Meßpkt.-Nr.								
1	90	95	70	85	95	95	85	75
	75	80	60	85	85	80	80	80
2	100	100	85	105	115	100	105	110
	100	95	80	105	105	100	105	105
3	115	160	105	110	110	110	120	115
	110	105	90	120	120	120	120	110
4	115	130	115	110	120	120	140	125
	115	110	110	125	120	110	120	130
5	110	110	100	100	110	130	120	110
	105	100	85	110	105	110	105	105
6	110	105	90	105	115	105	105	105
	105	105	80	105	95	110	95	100
7	115	100	90	110	85	105	100	100
	105	100	75	105	110	100	110	100
8	100	95	70	110	100	95	95	95
	90	85	70	95	90	95	90	90
9	105	95	80	105	80	95	95	100
	90	120	75	100	100	90	90	95
10	115	140	115	130	120	120	150	125
	120	120	110	135	130	115	120	125
11	140	125	125	150	100	120	140	130
	135	130	115	150	135	130	140	135
12	130	120	95	125	115	120	100	110
	100	95	85	110	105	125	110	110
13	120	110	85	110	115	120	95	100
	95	110	75	95	110	120	95	90
14	110	105	80	120	80	135	110	100
	95	110	75	95	100	110	95	95
15	105	120	75	105	115	105	100	100
	90	90	75	95	90	125	95	90
16	95	120	80	105	140	120	100	100
	90	90	75	95	105	140	90	90
17	95	100	80	105	130	115	90	100
	95	95	75	100	90	100	85	95

Terraintest: Seebichl, 68 Schritte/min, Lauf 1+2,
Pulswerte

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Meßpkt.-Nr.									
1	90	95	55	80	80	80	80	90	85
	80	85	65	90	90	80	80	95	80
2	110	110	85	115	100	100	105	105	80
	105	100	80	120	100	100	90	100	85
3	120	125	90	115	140	100	105	105	90
	105	105	90	125	100	105	105	110	90
4	130	135	95	130	120	105	120	115	100
	115	115	100	135	125	110	120	110	105
5	120	120	85	125	110	105	100	115	105
	105	110	90	125	115	105	105	115	105
6	120	115	75	115	90	95	100	110	90
	105	100	85	120	90	100	90	110	95
7	110	105	65	105	40	85	95	100	80
	90	95	75	110	95	90	85	105	80
8	100	120	85	105	80	100	105	105	95
	100	100	85	115	110	100	100	115	95
9	120	120	75	115	70	100	110	105	95
	105	105	85	125	95	105	105	115	100
10	115	120	75	110	60	95	80	105	80
	105	100	75	115	90	95	90	110	90

Terraintest: Seebichl, 84 Schritte/min, Lauf 1+2, Pulswerte

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Meßpkt.-Nr.									
1	90	105	60	80	80	85	85	85	70
	95	90	60	90	95	80	85	95	80
2	120	125	95	125	105	105	110	100	95
	115	105	100	125	115	110	105	110	105
3	130	135	100	130	110	100	120	110	105
	125	110	105	135	130	140	120	115	120
4	140	140	110	145	120	105	130	120	105
	135	125	115	150	130	115	135	125	115
5	130	135	105	135	120	105	120	115	105
	125	125	110	145	115	135	125	120	110
6	125	160	105	130	110	95	110	115	95
	120	115	105	135	90	110	115	110	95
7	110	120	75	110	140	85	90	105	80
	110	105	90	110	85	120	110	105	85
8	120	125	90	120	120	100	105	110	95
	120	110	90	130	120	105	110	115	100
9	130	135	100	130	135	100	120	110	105
	125	120	105	135	100	120	120	120	110
10	120	125	85	120	140	95	100	105	90
	115	110	95	125	125	105	100	110	90

Terrainkur: Seebichl, 100 Schritte/min, Lauf 1+2, Pulswerte

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Meßpkt.-Nr.									
1	80	90	70	100	100	80	90	95	65
	95	95	70	95	95	80	80	100	80
2	110	115	100	125	120	135	120	110	105
	120	115	95	125	135	105	110	110	115
3	120	120	115	135	135	110	125	100	105
	130	125	100	140	110	120	120	120	110
4	135	130	125	150	125	140	150	120	125
	140	130	120	155	140	130	135	130	125
5	135	130	120	135	140	150	145	125	125
	140	130	115	155	120	130	125	130	130
6	130	125	115	155	145	150	140	120	115
	135	125	110	155	115	125	125	125	120
7	110	110	95	125	130	105	125	105	90
	120	115	90	125	120	115	120	115	90
8	115	115	105	135	130	130	115	115	105
	125	115	100	130	125	115	110	120	100
9	130	125	120	145	95	150	135	130	115
	135	120	115	145	160	130	125	125	110
10	125	125	105	140	115	120	120	115	100
	125	130	100	135	135	120	115	120	95

Terraintest: Kapellenbichl, 40 Schritte/min, Lauf 1+2, Pulswerte

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Meßpkt.-Nr.									
1	100	110	60	100	80	90	85	80	70
	85	80	75	100	90	90	80	85	75
2	120	120	90	125	110	120	115	90	95
	105	110	100	130	120	120	110	95	90
3	120	120	95	125	100	105	120	95	90
	110	110	95	130	100	115	120	100	90
4	120	125	90	120	90	105	120	100	95
	105	110	95	125	120	115	120	110	95

Terraintest: Kapellenbichl, 68 Schritte/min, Lauf 1+2, Pulswerte

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Meßpkt.-Nr.									
1	95	115	60	110	90	90	90	80	80
	100	95	65	105	95	90	90	80	70
2	130	130	100	140	80	110	120	95	100
	120	120	105	130	130	105	120	90	90
3	135	135	120	145	125	120	135	115	115
	135	135	120	150	100	105	140	120	115
4	145	130	120	150	120	125	145	125	120
	140	135	125	150	110	115	145	125	120

Terraintest: Kapellenbichl, 84 Schritte/min, Lauf 1+2, Pulswerte

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Meßpkt.-Nr.									
1	100	105	65	105	110	85	90	85	80
	85	100	70	95	90	80	80	80	70
2	125	130	110	135	140	105	130	100	105
	110	110	105	100	105	130	115	105	100
3	140	135	130	150	70	150	150	125	125
	130	140	125	80	105	120	125	110	125
4	145	140	135	155	140	130	160	135	135
	140	140	135	95	120	160	145	125	135

Terraintest: Kapellenbichl, 40 Schritte/min, Lauf 1+2,
Laufzeiten (min:sec)

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Meßpkt.-Nr.									
1	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
2	1:00	1:00	1.00	1:10	1:05	1:05	0:50	0:55	0:55
	1:00	1:00	1:05	1:05	0:50	1:00	0:55	1:00	1:00
3	2:00	1:55	1:55	2:25	2:05	2:00	1:30	1:50	1:50
	1:50	1:55	1:55	2:05	1:30	1:55	1:35	2:00	1:55
4	2:45	2:45	2:40	3:20	2:35	2:55	2:15	2:30	2:35
	2:35	2:45	2:45	2:55	2:10	2:45	2:20	2:35	2:40

Terraintest: Kapellenbichl, 84 Schritte/min, Lauf 1+2,
Laufzeiten (min:sec)

Proband-Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	10
Meßpkt.-Nr.									
1	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00	0:00
2	0:25	0:40	0:25	0:30	0:25	0:30	0:25	0:25	0:25
	0:25	0:30	0:30	0:30	0:25	0:25	0:25	0:25	0:25
3	0:45	1:10	0:55	1:05	0:45	0:55	0:45	0:45	0:45
	0:45	0:55	0:50	0:55	0:45	0:50	0:45	0:45	0:45
4	1:05	1:40	1:20	1:35	1:10	1:20	1:05	1:10	1:05
	1:05	1:20	1:15	1:20	1:05	1:10	1:05	1:05	1:05

Fahrradergometertest: Pulswerte, zwei Durchgänge

Proband-Nr.	P_o	P_{50}	P_{75}	P_{100}	P_{125}	P_{150}
1	95	110	120	130	140	---
	80	95	115	130	145	---
2	80	105	115	130	145	---
	90	115	125	135	150	---
3	60	95	120	Abbruch!	--	---
	--	--	---	---	--	---
4	65	140	120	140	---	---
	90	105	125	150	---	---
5	80	110	120	130	140	---
	90	100	95	120	120	140
6	75	95	105	110	120	---
	80	95	110	115	130	---
7	85	110	135	160	---	---
	80	100	125	140	160	---
8	80	95	105	120	125	135
	75	95	110	120	135	145
9	90	100	125	140	---	---
	--	---	---	---	---	---
10	70	90	100	105	120	140
	80	95	100	110	125	145

Für die Überlassung des Themas danke ich den Herren Prof. Dr. Drexel und Diplom-Physiker Dirnagl.

Insbesondere gilt mein Dank Herrn Dipl.-Physiker Dirnagl, der mir bei der Planung, Ausführung und Niederschrift der Arbeit immer bereitwillig und mit Rat und Tat zur Seite stand.

Sehr zu Dank verpflichtet bin ich den Bürgern der Gemeinde Bayersoien, die sich für unsere Versuche freiwillig zur Verfügung stellten und den verschiedenen Anforderungen mit viel Eifer begegneten.

Herrn Lindinger danke ich für die freundliche Betreuung während meines Aufenthaltes in Bayersoien, ebenso dem örtlichen Kurarzt für die Zuweisung von Kurpatienten.

Lebenslauf

Brigitte Huber

4.11.1956	geboren in Landshut
1962	Eintritt in die Volksschule Ahrain
1967	Eintritt in das Gymnasium Seligenthal in Landshut
1976	Abitur in der gleichen Schule
1977	Beginn des Studiums an der LMU München im Fach Medizin
1979	Physikum
1980	1. Teil des Staatsexamens gemäß AO
1982	2. Teil des Staatsexamens gemäß AO
1983	3. Teil des Staatsexamens gemäß AO